
Princeton University Library
32101 057356709

Optik,
Catoptrik und Dioptrik

oder

theoretisch-praktischer Unterricht

über

den möglichst vollkommenen Bau aller optischen Instrumente, besonders aller Arten von Fernröhren und Microscopen, nebst Angabe der praktischen Hilfsmittel zur technischen Ausführung derselben.

Ein populäres Lehrbuch

für

alle diejenigen, welche mit geringen mathematischen Vorkenntnissen sich von diesen Gegenständen eine möglichst gründliche Kenntniß erwerben und vollkommene optische Instrumente verfertigen wollen.

Herausgegeben

von

Dr. Fr. W. Barfuß.

Mit 41 lithographirten Tafeln.

Weimar, 1839.

Druck, Lithographie und Verlag von Bernh. Fr. Voigt.

Vorrede.

Der Zweck dieses Buchs soll ein möglichst gründlicher und umfassender Unterricht über die Natur der optischen Instrumente seyn und von diesem Gesichtspunkt ausgehend, hatte ich zwar keine Optik, sofern sie die gesammte Lehre vom Lichte bedeutet, zu schreiben, indessen schien es mir doch nöthig, mich über Gegenstände hier genauer auszusprechen, die man wohl beim ersten Ansehen der Sache nicht erwartet. Ich habe gewissermaasen nichts anderes geliefert, als eine neue Auflage eines alten optischen Buchs, bei welchem unter den Namen Optik, Catoptrik und Dioptrik die ganze Lehre vom Lichte begriffen wird, und

darum beginnt mein Vortrag mit der auf das Gesetz des geradlinigen Sehens gegründeten Construction des Sehwinkels und macht die Anwendung davon auf die Gesetze perspectivischer Zeichnungen und auf die Zeichnung optischer Anamorphosen u. dergl. und hierin liegt das, was eben beim ersten Anblick meinem Buche fremdartig scheinen könnte. Ich hoffe aber, daß der Sachkundige mir zugeben wird, wie nothwendig es sey, daß ein Anfänger in der Wissenschaft sich mit diesen einfachen Constructionen recht bekannt mache, durch welche ich nichts weiter bezwecken will, als daß man die Wichtigkeit des Sehwinkels zur Beurtheilung aller optischen Vorrichtung anerkennen lerne und sich Gewandtheit verschaffe, denselben da, wo es erfordert wird, anzuwenden. Wie sollte dieses aber besser geschehen können, als durch Construction eines Bildes nach den Sehwinkeln, d. h. durch die Perspective? Darf doch die Kenntniß der optischen Anamorphosen und anderer Dinge, wenigstens meiner Meinung nach, einem Optiker nicht mangeln, warum sollte er auch nicht in seinem Lehrbuch Aufschluß finden

dürfen über so nah verwandte Dinge, ohne welche er jene nicht einmal recht verstehen kann? Darum wird man mich hinlänglich rechtfertigen, daß ich einige Seiten der Schattenconstruction der Perspective u. s. w. widmete; man wird aber auch nicht eine ganz ausführliche Darstellung hier suchen, obschon das Wesen dieser Dinge vollkommen erschöpft ist.

Nun geht der Vortrag über zur Catoptrik und den einfachen catoptrischen Vorrichtungen, dann zur Dioptrik und von da zum Bau der wichtigsten optischen Instrumente, der Fernröhre und Microscope in der Vollkommenheit, wie sie bis jetzt erreicht worden ist, und zuletzt werden noch die Geschäfte eines practischen Optikers beschrieben, und somit bin ich genau in den Schranken stehen geblieben, die schon vor langer Zeit der Optik gezogen waren und habe die großen Erweiterungen, welche die neuere Zeit hinzugethan hat, meist mit Stillschweigen übergangen. Dies ist auch sehr natürlich, da alle übrigen theils ältern, theils neuern Entdeckungen bis jetzt nur ein wissenschaftliches Interesse haben, obschon dieses

sehr groß ist; dieses Werk konnte aber dem Zwecke des Schauplatzes gemäß nur so weit sich verbreiten, als von der Optik ein technischer Gebrauch gemacht wird, oder mit andern Worten, es sollte ein technologisches Werk seyn.

So wie man aber heut zu Tage fast jedes Handwerk zum Rang einer Wissenschaft zu erheben strebt, so konnte ich nicht umgekehrt die Optik in technischer Hinsicht zu einem Handwerk erniedrigen und dieses war der Grundgedanke für meine Schrift. Ich durfte also keine Kinder oder Leser von ganz gemeinem Verstande voraussetzen, ich mußte ihnen nothwendig schon Vorkenntnisse zumuthen, doch hielt ich mich so viel wie möglich an eine sinnliche oder concrete Darstellung und setzte nur da, wo es mir nöthig und thunlich schien, die abstracte Sprache der Mathematik für gebildetere Leser bei. Ich hoffe auf diese Weise einem großen Publikum zu genügen und schmeichle mir, das theoretische Bedürfniß auf eine Weise befriedigt zu haben, daß der aufmerksame Leser wenig mehr vermissen wird, obschon ich weit entfernt bin zu glauben, daß meine Ar-

heit vollkommen sey; denn vollkommen wissenschaftlich durfte ich ja nicht einmal schreiben, theils wegen der nothwendigen Popularität, theils wegen der Beschränktheit des Raums, auf welchen ich das Ganze zusammendrängen mußte und Jedermann weiß, wie schwer es ist, ohne Zuziehung vieler Mathematik eine Sache klar zu machen, die vollkommen nur durch viele Mathematik erschöpft wird. Man muß sich hier nur mit Andeutungen begnügen, die für wenig mathematisch Gebildete geeignet sind.

Neben dem theoretischen Bedürfniß ist nicht weniger das practische zu berücksichtigen. Es sollte eigentlich hierüber nur ein solcher Belehrung mittheilen, der Theorie und Praxis in gleichem Maase in sich vereinigt, dessen ich mich auf keine Weise rühmen kann, was man mir aber auch wohl nicht zumuthen wird. Indessen glaube ich doch so viel Einsicht in die Praxis zu haben, daß ich die Winke Anderer gehörig würdigen und sie dem, der schon die erforderlichen mechanischen Fertigkeiten mitbringt, mittheilen kann. Dieses ist meiner Meinung nach auch

Alles, was man von einem practischen Werk über Optik fordern darf und aus diesem Gesichtspunkte habe ich geschrieben, nicht für sachverständige Practiker, sondern für Anfänger, und ob ich in dieser Hinsicht etwas Brauchbares geliefert habe, mögen sachkundige Leser beurtheilen, deren Belehrung mir außerordentlich willkommen seyn wird.

So wage ich es denn, dieses Werk dem Publikum vorzulegen, mit dem Wunsche, daß es etwas beitragen möge, die optischen Kenntnisse im Publikum zu fördern.

Weimar, im März 1839.

Der Verfasser.

Inhalt.

Drittes Kapitel.

Viertes Kapitel.

Fünftes Kapitel.

Seite

Siebentes Kapitel.

Von den Spiegeltelescopen.

Achtes Kapitel.

Neuntes Kapitel.

§. 240. Einige Zusätze

Erstes Kapitel.

Gesetz des geradlinigen Sehens.

---

§. 1.

Wir verstehen unter Optik überhaupt die gesammte Lehre vom Sehen, wiefern uns die Körper durch Lichtstrahlen, die von ihnen ausgehend unser Auge treffen, sichtbar werden. Diese Lichtstrahlen können entweder unmittelbar von den Dingen zum Auge gelangen oder inzwischen durch Spiegel aufgefangen und zurückgeworfen werden, oder endlich durch durchsichtige Mittel, z. B. Gläser, hindurchgehen, wobei sie beim Austritt eine andere Richtung angenommen haben, als beim Eintritte. Hierdurch bekommen wir drei Haupttheile der Wissenschaft:

1) Die Optik insbesondere, welche von den Gesetzen des Sehens handelt, in sofern die Lichtstrahlen unmittelbar von den Gegenständen ins Auge gelangen.

2) Die Catoptrik oder die Lehre von den Erscheinungen, welche Spiegel darbieten.

3) Die Dioptrik oder Anaklastik, welche die Erscheinungen erklärt, welche beim Durchgange der Lichtstrahlen durch durchsichtige Körper stattfinden.

§. 2.

Das Licht ist die Bedingung der Sichtbarkeit alles Körperlichen, oder mit andern Worten: ohne Licht kann nichts gesehen werden. Wo gar kein Licht ist, da ist Finsterniß, und wo ein Mangel des Lichts im Contraste mit dem Lichte, z. B. auf einer beleuchteten Wand, beobachtet wird, da ist Schatten. — Einige Körper sind selbstleuchtend, d. h. sie sind selbst die Quelle des Lichts, wodurch sie gesehen werden, wie z. B. am Himmel die Sonne und die Fixsterne und auf der Erde die Körper im Verbrennungsprozeß. Andere dagegen sind dunkel und werden nur in der Nachbarschaft selbstleuchtender Körper sichtbar, von denen sie Licht empfangen und das empfangene Licht wieder von sich geben.

Man stellt sich das Licht vor als eine feine elastische Materie, welche sich strahlend, d. h. von einem Punkt aus nach allen Richtungen geradlinig fortbewegt. Für diesen geradlinigen Fortgang des Lichts, welcher nur beim Uebergange desselben aus einer Materie in eine andere, verschiedene, unterbrochen wird, finden wir in der Natur unzählige Beweise, und gar viele menschliche Verrichtungen gründen sich auf diesen Satz.

Soll z. B. vermittelst Stäbe eine gerade Linie abgesteckt werden, so wird man diesen Zweck dann erreicht haben, wenn man vor dem vordersten Stabe die dahinter stehenden nicht sieht. Dann wird nämlich der vorderste Stab verhindern, daß von dem entfernteren Licht ins Auge gelangen kann. Es ist eine bekannte Erfahrung, daß uns ein Gegenstand dann unsichtbar wird, wenn geradlinig zwischen ihn und das Auge ein undurchsichtiges Hinderniß tritt. — Der Schatten eines geraden Stabes erscheint auf einer ebenen Wand ebenfalls gerade, und man sieht im fin-

stern Zimmer, in welches durch eine enge Oeffnung Licht eindringt, diesen Schein geradlinig durch das Zimmer hindurchgehen.

Indem aber das Licht von leuchtenden Körpern ausströmt, braucht es eine gewisse Zeit, um einen bestimmten Raum zu durchlaufen. Hiernach bestimmt sich die Geschwindigkeit desselben, welche ungemein groß ist, denn es durchläuft in einer Secunde einen Raum von nicht weniger als 40000 deutschen Meilen. Auf der Erde ist also keine Entfernung so groß, daß wir die Zeit, welche das Licht gebraucht, um sie zurückzulegen, messen oder merken könnten, aber die Entfernungen der Himmelskörper können uns auf die Zeit schließen lassen, binnen welcher sie vom Lichte durchstrahlt werden. Der Däne Olof Römer war der erste, welcher diese Beobachtung an den Finsternissen machte, welche auf dem Jupiter von seinen Trabanten verursacht werden. Diese Finsternisse endigen nämlich erst geraume Zeit, nachdem der Trabant aus der Scheibe seines Hauptplaneten herausgetreten ist. Das Licht nämlich, welches nun wieder auf die vorher beschattete Stelle dringt, braucht diese Zeit, um von da bis auf unsere Erde zu gelangen. — Daß das Licht in verschiedenen durchsichtigen Materien mit verschiedener Geschwindigkeit fortgehe, läßt sich theoretisch vermuthen, obschon diese Vermuthung nicht durch die Erfahrung bestätigt werden kann.

§. 3.

Die Bewegung der Lichtstrahlen muß erst durch unser Auge auf eine höchst wunderbare Weise modificirt werden, wenn die Gegenstände, von welchen sie ausströmen, sichtbar werden sollen. Das Auge ist also das Werkzeug des Sehens. Es läßt sich in dieser Hinsicht ganz und gar mit einer Camera obscura vergleichen, in welcher mittelst eines Glases mit bauchi-

gen Oberflächen auf einer in gehöriger Entfernung dahinter stehenden Wand Bilder von nicht gar zu nahen Gegenständen umgekehrt, aber deutlich entworfen werden. Die Flüssigkeiten, welche den Augapfel ausfüllen, verursachen in der That ein solches Bild auf dem Grunde des Augapfels. Hier liegt die Netzhaut, ein feines Gewebe der unzähligen Spitzen, in welche der Sehnerv sich verbreitet. Die Erfahrung lehrt, daß auf der Netzhaut ein deutliches Bild der Gegenstände entstehen muß, welche deutlich gesehen werden sollen. Aber wie durch den Nerven die Empfindung des Sehens verursacht wird, bleibt für uns immer ein unerforschliches Geheimniß. — Die optische Einrichtung des Auges können wir erst später deutlicher erklären, wenn wir gesehen haben, wie durch Linsengläser Bilder der entgegenstehenden Objecte verursacht werden.

§. 4.

Jeder Punkt eines leuchtenden Körpers sendet unzählige Strahlen aus, welche durch die kreisförmige schwarze Oeffnung des Auges, die Pupille, in dasselbe hineindringen und sich auf der Netzhaut wieder in einem Punkte vereinigen. Diese Strahlen bilden also einen Kegel, dessen Grundfläche die Pupille und dessen Spitze der gesehene Punkt bildet. Wir sehen also durch divergirende, d. h. durch aus einander fahrende Strahlen. Die Erfahrung lehrt dagegen, daß kein deutliches Sehen möglich ist, wenn durch optische Vorrichtungen die von den Gegenständen ausgehenden Strahlen convergirend, oder zusammenfahrend gemacht worden sind. — Da man nun auch weit entlegene Gegenstände scharf begrenzt und deutlich sieht, wenn man gleich die kleinern Theile derselben nicht mehr zu unterscheiden vermag, und alsdann die von einem Punkt aus durch die Pupille gehenden Strah-

len einen nur kleinen Winkel mit einander machen, also nahe unter sich parallel sind, so nimmt man bei optischen Betrachtungen insgemein an: daß das gesunde Auge durch Parallelstrahlen deutlich sehe. Demnach sorgt man bei der Verfertigung eines optischen Instruments dafür, daß alle Strahlen, welche von einem und demselben Punkte des Gegenstands ausgehen, durch das letzte Glas unter sich parallel austreten, obschon man eigentlich dieses Glas so rücken muß, daß die Strahlen nach ihrem Durchgange durch dasselbe ein wenig divergiren.

§. 5.

Obschon aber klar ist, daß zum deutlichen Sehen divergirende Strahlen erfordert werden, so darf diese Divergenz doch ein gewisses Maas nicht überschreiten, wenn das Auge ohne Anstrengung deutlich sehen soll. Je näher nämlich ein sichtbarer Punkt dem Auge rückt, desto divergirender werden die Strahlen, weil alsdann der Winkel, welchen die Seitenlinien des oben beschriebenen Strahlenkegels, dessen Grundfläche die Pupille ist, bildet, immer größer wird. Daher darf ein Object dem Auge nur bis auf eine Grenze genähert werden, wenn das Sehen nicht schmerzhaft und endlich gar undeutlich werden soll. Diese kleinste Entfernung des Objects vom Auge nennt man die Weite des deutlichen Sehens. Die Erfahrung lehrt, daß sie bei verschiedenen Augen verschieden ist; das gesunde Auge sieht aber dann die Gegenstände am besten, welche etwa in einer Entfernung von 8 Zollen von ihm abstehen. Augen, bei denen eine größere Sehweite stattfindet, heißen *weitsichtige*, Augen von kürzerer Sehweite dagegen *kurzsichtige*.

Der Fehler der Weitsichtigkeit ist hauptsächlich alten, der der Kurzsichtigkeit mehrentheils jungen Leuten eigen, wovon wir die Gründe erst später angeben

können, wenn wir die Einrichtung des Auges näher untersuchen werden.

In der That lassen wir auch bei den nächsten Betrachtungen die Einrichtungen des Auges ganz außer Acht und betrachten dasselbe bloß als einen Punkt, in welchem die Empfindung des Sehens inne wohnt.

§. 6.

Das Gesetz des geradlinigen Sehens ist die geometrische Grundlage, nach welcher die Gestaltung sichtbarer Dinge, ihre Lage gegen einander u. dgl. beurtheilt werden muß. Wir sehen richtig, wenn die Lichtstrahlen ohne Hinderniß geradlinig ins Auge kommen, falsch aber da, wo dieser geradlinige Fortgang unterbrochen wird, wie z. B. bei den Erscheinungen, welche uns Brechung und Spiegelung darbieten.

Auf den geradlinigen Fortgang der Lichtstrahlen gründet sich zuerst die Construction des Sehwinkels. Es sey **A B** ein Object und das Auge in **O** (Taf. I. Fig. 1). Der Winkel **A O B**, welchen die von dem äußersten Punkte des Objects kommenden Strahlen **A O**, **B O** bei ihrem Durchschnitt am Auge mit einander bilden, heißt der Sehwinkel von **A B**. Nach ihm richtet sich die scheinbare Größe des Objects, daher auch Sehwinkel und scheinbare Größe für ganz gleichbedeutend genommen werden. So ist z. B. die scheinbare Größe der Sonne oder des Monds nichts anders, als der Sehwinkel dieser Himmelskörper.

Alle Objecte **C D**, **E F**, welche mit ihren äussersten Endpunkten die Schenkel des Sehwinkels von **A B** berühren, haben gleiche scheinbare Größe mit **A B**, denn von dem vordern werden dann alle hintern verdeckt. Also ist die scheinbare Größe gar sehr verschieden von der wahren, welche man erhält, wenn man die Höhe des Gegenstands mit irgend einem Maas-

stabe mißt. Ein kleines Object kann mit einem weit größern gleiche scheinbare Größe haben, oder noch mehr, wenn ersteres dem Auge näher liegt, als das letztere. So kann man z. B. durch die Oeffnung eines Fensters eine weite Gegend übersehen. — Aber ein Gegenstand erscheint um so größer, je größer sein Sehwinkel, und umgekehrt.

In der Regel betrachtet man nur kleine Sehwinkel, die nicht viel über einen Grad gehen. Wir wollen annehmen, daß das Object **AB** (Taf. I. Fig 2) auf dem einen Schenkel **AO** seines Sehwinkels senkrecht steht. Für diesen Fall lassen sich zwischen der wahren und scheinbaren Größe eines Objects und seiner Entfernung **AO** sehr einfache Vergleichungen anstellen. Sie sind in folgenden Sätzen enthalten:

1) Sind die Entfernungen zweier Objecte gleich, so verhalten sich ihre wahren Größen, wie die scheinbaren.

2) Sind die scheinbaren Größen gleich, so verhalten sich die wahren, wie die Entfernungen.

3) Sind die wahren Größen gleich, so verhalten sich die scheinbaren umgekehrt, wie die Entfernungen.

Ist z. B. bei gleichen Entfernungen die scheinbare Größe eines Objects 2, 3, 4 mal u. s. w. größer, als die eines andern, so ist auch die wahre Größe des ersten 2, 3, 4 mal größer, als die des zweiten. Haben Objecte gleiche scheinbare Größe, so ist die wahre Größe des 2, 3, 4 mal weitern auch 2, 3, 4 mal größer. — Rückt endlich ein Object in die 2, 3, 4fache Entfernung hinaus, so vermindert sich seine scheinbare Größe bis auf die Hälfte, das Drittel, Viertel.

Zusatz. Das Object **AB** (Taf. I. Fig. 2) ist eine Tangente des Sehwinkels **AOB** für den Halb-

messer OA. Setzt man daher AB = h, OA = a, Winkel AOB = O, so ist

$$h = a \text{ tang } O$$

oder da die Tangenten kleiner Winkel nahe ihren Bögen proportional sind:

$$h = a \cdot O$$

$$O = \frac{h}{a}$$

$$a = \frac{O}{h}$$

und in diesen drei Gleichungen ist der Bogen O in Theilen des Halbmessers zu nehmen, daher man ihn mit 206265 multipliciren muß, um ihn in Secunden zu verwandeln.

Unter welchem Winkel erscheint z. B. ein Stab von 6 Fuß Höhe in der Entfernung von 2000 Fuß? Hier ist h = 6, a = 2000, daher $O = \frac{6}{2000}$ in Theilen des Halbmesser, also in Secunden $O = \frac{6}{2000} \times 206265 = 418{,}8'' = 6'\ 58''.8$.

Wie groß ist ein Stab, der in einer Entfernung von 1822 Fuß unter einem Winkel von 5′ = 300″ erscheint. Hier ist a = 1822, O = 300, daher h = 1822 × 300 = 546600. Dieses Product muß aber noch mit 206265 dividirt werden, weil O eigentlich in Theilen des Halbmessers ausgedrückt seyn müßte. Daher h = 2,65 Fuß.

Wie weit ist ein Stab von 5 Fuß Höhe, der unter einem Winkel von 1′ = 60″ erscheint? Hier ist h = 5, O = 60″, daher $a = \frac{5}{60} \times 206265 = 17188.7$ Fuß.

§. 7.

Man muß den hier gegebenen Begriff von scheinbarer Größe nicht mit dem verwechseln, was uns unser Urtheil über die Größe der gesehenen Dinge sagt. Dieses richtet sich nicht immer nach den Sehwinkeln, sondern wird meistens noch durch die Gewohnheit geleitet, oft auch durch die Einbildungskraft irre geführt. Es kommt uns z. B. ein nahe stehender Knabe immer noch kleiner vor, als ein fern stehender Mann, obgleich ersterer unter einem größern Sehwinkel erscheint, als der letztere, weil wir aus der Erfahrung wissen, daß ein Mann größer ist, als ein Knabe. Am auffallendsten zeigt es sich, wenn man mehrere Personen durch ein Fernrohr den Jupiter betrachten läßt; der eine wird ihn vergleichen mit einem Viergroschenstück, der andere mit einem Groschen, der dritte mit einer Erbse u. s. w. Alles richtet sich hier nach der Entfernung, in welche des Beobachters Einbildungskraft das Bild des Jupiters versetzt.

Ueber die Entfernungen der gesehenen Dinge sagt uns der Sehwinkel nichts; sie können eigentlich gar nicht gesehen werden, sondern unser Urtheil darüber wird lediglich durch die Erfahrung bestimmt. Hierbei wirken sehr mannichfaltige Umstände, z. B. die Größe des Sehwinkels, unter dem ein Gegenstand erscheint, dessen wahre Größe man schon kennt, die Stärke der Beleuchtung u. dgl., meistens sehr dunkel und unbestimmt, daher wir oft bedeutend irren. Daß wir nur aus der Erfahrung wissen, ob gesehene Dinge näher oder ferner liegen, bestätigen solche Personen zur Gnüge, die, wie z. B. Caspar Hauser, erst spät sich den Gebrauch ihres Gesichtssinnes üben konnten; ihnen erschien eine Landschaft wie eine mit bunten Farben beklexte Fläche.

Aus Entfernung und scheinbarer Größe beurtheilen wir die wahre Größe der Dinge; daher sagt uns unser Augenmaas von der wahren Größe solcher Dinge nichts, von deren Entfernung wir keine Erfahrung haben. Dies beweisen die Himmelskörper. So kann unser Urtheil hierin auch bedeutend fehlen, wenn wir eine falsche Vorstellung von der Entfernung haben.

§. 8.

Wenn der Sehwinkel sehr klein wird, so kann ihn das Auge nicht mehr mit Deutlichkeit fassen. Der kleinste Sehwinkel fällt nach Verschiedenheit der Augen verschieden aus und liegt zwischen 30 und 60 Secunden. Smith fand, daß man einen schwarzen Fleck auf weißem Grund, oder einen weißen Fleck auf schwarzem Grunde nicht mehr deutlich sehen könne, wenn der Sehwinkel jener Flecken 40 Secunden betrage, oder der Fleck mehr, als das 5156fache seiner Breite entfernt sey. Hierbei kommt aber sehr vieles auf die Stärke des Lichts an, wie Dr. Jurin ganz richtig bemerkt. So sieht man Fixsterne, deren Sehwinkel noch nicht eine Secunde beträgt und Striche werden in längern Entfernungen bemerkt als Punkte, weil die ersten mehr empfindende Theile des Auges treffen, als die letzten. Tobias Mayer schließt aus Versuchen mit schwarzen Flecken auf sehr weißem Papiere, daß der kleinste Sehwinkel im Durchschnitte 34 Secunden betrage.

Hieraus erklären sich viele Erscheinungen. So sehen wir nur den Umriß eines Baums und nicht seine Blätter, wenn ihr Gesichtswinkel weniger als 40 Secunden beträgt. Von einem fernen Kornfelde sehen wir nicht die einzelnen Aehren, sondern sie schwimmen zu einer wogenden Fläche zusammen. Eine sehr lange Allee scheint in der Ferne zusammen zu laufen und zwei sehr nahe stehende Fixsterne scheinen

dem bloßen Auge nur ein Stern zu seyn und nur die bedeutende Vergrößerung des Fernrohrs vermag sie getrennt darzustellen.

Wir sehen nur die Gegenstände deutlich, welche nahe um die Augenaxe liegen. Diese ist diejenige gerade Linie, welche durch den Mittelpunkt der Pupille geht und senkrecht auf der Oberfläche des Auges steht. Wir richten sie allemal auf den Gegenstand, den wir recht deutlich sehen wollen. Indeß sehen wir doch zugleich auch diejenigen Gegenstände ziemlich deutlich mit, welche etwa um einen Winkel von 45° von der Augenaxe entfernt sind. Daher beträgt der größte, für das Auge noch faßliche Sehwinkel etwa 90°. Diese Ausdehnung ist vielleicht zu groß und man hat die Grenze des größten Sehwinkels behufs perspectivischer Zeichnungen bis auf 53° herabgesetzt. Freilich kommt auf eine genaue Bestimmung hier nichts an und es läßt sich auch bei der Verschiedenheit der Augen keine solche geben.

§. 9.

Gleichfalls aus dem Gesetze des geradlinigen Fortgangs der Lichtstrahlen ist die optische Camera obscura zu erklären (Taf. I. Fig. 3). Darunter verstehen wir ein Zimmer ABCD, welches bis auf eine sehr kleine Oeffnung E in einem Fensterladen gänzlich verfinstert ist. Die Wirkung dieser Vorrichtung ist die, daß auf einer in einiger Entfernung von der Oeffnung E aufgestellten weißen Fläche DA die Gegenstände außerhalb des Zimmers sich verkehrt abmalen, und zwar verkleinert, in sofern der Gegenstand von der Oeffnung E weiter absteht, als die Entfernung der Fläche, worauf sich die Bilder abmalen.

Der Punkt N des Objects MN sendet einen Lichtstrahl Nn durch die Oeffnung E und trifft die Wand AD in n. Da nun jeder Körper, welcher

Licht empfängt, auch wieder Licht zurückgibt, so muß man in n ein Bild des Punktes N sehen. Gleichergestalt geht ein Lichtstrahl von M durch E bis m und bewirkt hier ein Bild des Punktes M. Auf ähnliche Weise entsteht ein Bild von jedem Punkte des Objects MN und es zeigt sich auf der Wand ein vollständiges Bild mn von MN, nur umgekehrt, wie aus der Figur ohne Weiteres erhellt. — Bild und Gegenstand erscheinen von E aus gesehen unter gleichem Winkel, und wenn DA mit MN parallel ist, so verhalten sich wegen der Aehnlichkeit der Dreiecke nEm und NEM Bild und Gegenstand der Größe nach, wie die Entfernungen von E.

Die Oeffnung E sollte eigentlich ein mathematischer Punkt seyn, damit von jedem Punkte des Objects MN nur ein einziger Strahl hindurch gehen könnte. Da aber dieses nicht möglich ist, so hat das Loch, wegen der Dicke des Bretes, die Form eines Cylinders und muß hinreichend groß seyn, damit nicht etwa die Strahlen, welche schräg gegen das Bret auffallen, schon von der innern Wand des Cylinders aufgefangen und verhindert werden, auf die Bildesfläche DA zu gelangen. Hierdurch geschieht es nun, daß von einem Punkte M des Objects gar viele divergirende Strahlen Mm, Mp u. s. w. durch das Loch E gehen, von welchem jeder ein Bild des Punkts M auf AD macht. Alle diese Bilder liegen in der Fläche eines Kreises oder einer Ellipse, welche durch den Durchschnitt des Strahlenkegels Mmp mit der Fläche der Wand sich ergibt. Hierdurch muß nothwendig eine Undeutlichkeit entstehen, weil das Bild des Punkts m nicht wieder ein Punkt, sondern eine Fläche ist. Auch werden auf diese Weise die Bilder mehrerer Punkte in einander greifen und einander schwächen, wodurch Verworrenheit und Unbestimmt-

heit der Umrisse entsteht. Indessen behält das Bild immer noch eine ziemliche Deutlichkeit.

Wird das Loch E größer gemacht, so wird auch die Undeutlichkeit größer, weil der Strahlenkegel M p m, und also auch das Bild p m vom Punkte M breiter wird. Dann greifen die Bilder von noch mehr Punkten in einander und schwächen einander. Oeffnet man endlich ein ganzes Fenster, so hat der Strahlenkegel oder die Strahlenpyramide eines jeden Punkts M des Objects die Oeffnung des Fensters zur Grundfläche, und an der Wand wird seine Grundfläche noch größer. Das Bild von M verbreitet sich also in einen so großen Raum, daß es nicht mehr als solches erkannt werden kann, und da sich überdies die Bilder aller Punkte mit einander vermischen, so entsteht der bloße Eindruck von Licht an der Wand A D.

Man erhält weit deutlichere Bilder, wenn man die Oeffnung E größer macht, in dieselbe ein Linsenglas einsetzt und die Wand in dessen Brennpunkt rückt. Dieses vereinigt nämlich alle von einem Punkte kommenden Strahlen wieder in einem Punkte.

Der Erfinder dieser unterhaltenden und lehrreichen Vorrichtung ist der Neapolitaner Johann Baptista Porta um die Mitte des 16ten Jahrhunderts.

§. 10.

Wenn ein leuchtender Körper sein Licht gegen einen dunkeln undurchsichtigen wirft, so bleibt hinter diesem ein Raum, in welchen gar kein Licht dringt und den man Schatten nennt. Schatten ist also nichts anderes, als ein Mangel an Licht und wird also nur durch das ihn umgebende Licht gesehen.

Da die Lichtstrahlen in geraden Linien fortgehen, so ist es leicht, die Gestalt des dunklen Raums anzugeben, welchen ein dunkler Körper verursacht. Stellen wir uns zuerst den leuchtenden Körper als

einen Punkt vor. Zieht man von diesem aus durch alle äußersten Punkte des dunkeln Körpers gerade Linien, so schließen diese den Schattenraum ein, welchen der Körper verursacht. Folglich ist der Schattenraum eine abgestumpfte Pyramide, deren Seitenflächen im Lichtpunkte zusammenstoßen. Nach Verschiedenheit des Schatten gebenden Körpers ist die Pyramide verschieden. Für eine Kugel geht sie in einen Kegel über. Der Durchschnitt des Schattenraums mit einer Ebene wird um so größer, je weiter er vom strahlenden Körper entfernt ist, und ist im Verhältniß dieser Entfernung.

Liegt der strahlende Punkt unendlich weit entfernt, so sind die Lichtstrahlen als parallel anzusehen. Die Schattenpyramide wird alsdann ein Schattenprisma und der Schattenkegel ein Schattencylinder.

§. 11.

Diese Construction des Schattenraums erleidet einige Modification, wenn der leuchtende Körper kein bloßer Punkt ist, sondern, wie es immer der Fall ist, eine gewisse Ausdehnung besitzt. Hier können sogar bedeutende Schwierigkeiten eintreten. Die einfachsten, aber auch die einzig wichtigen Beispiele kommen in der Astronomie bei der Bestimmung des Erd- oder Mondschattens vor, welche Körper dabei als vollkommene Kugeln vorausgesetzt werden.

Sey also **S** die Sonnenkugel, **T** die Erde (Tafel **I.** Fig. 4). Man verbinde die Mittelpunkte beider durch eine gerade Linie (Axe) und suche auf der Verlängerung derselben den Punkt **X**, wo beide Kugeln unter gleichem Winkel **AXC** gesehen werden. In diesem Punkte hört der Schatten auf, wenn die leuchtende Kugel größer ist, als die dunkle. Zieht man also von **X** aus an die Erdkugel Berührungslinien **XB**, **XD**, so grenzen diese den Schattenraum

ein. Dieser hat demnach die Form eines Kegels. — Aus der Größe der Halbmesser beider Kugeln und dem Abstand ihrer Mittelpunkte kann man die Länge des Schattens **TX** berechnen oder construiren. — Die Erdkugel **T** senkt sich also in den Schattenkegel **BXD** so weit ein, bis sie denselben berührt, und hieraus ist klar, daß der Theil ihrer Oberfläche, wohin keine Sonnenstrahlen mehr dringen können, kleiner ist, als der von der Sonne erleuchtete, oder die Tagseite der Erde ist größer, als ihre Nachtseite.

Ist der dunkle Körper größer, als der leuchtende, so fällt der Punkt **X** (Taf. **I.** Fig. 5), von welchem aus beide Kugeln unter gleichem Winkel gesehen werden, dem Schatten gegenüber. Dieser ist also in diesem Fall ein abgestumpfter Kegel, der sich um so mehr ausbreitet, je weiter er vom Schatten gebenden Kegel entfernt ist. Hier leuchtet auch ein, daß die Lichtseite des erleuchteten Körpers kleiner ist, als die dunkle, so wie z. B. die größere Erde vom kleinern Monde nicht ganz zur Hälfte beschienen wird.

§. 12.

Den im vorigen §. beschriebenen Schatten nennt man den **Kernschatten** oder den **vollkommenen Schatten**. Geht das Licht von einem einzigen Punkt aus, so gibt es blos einen Kernschatten, wenn aber der leuchtende Körper eine gewisse Ausdehnung hat, so gibt es außerdem auch noch einen sogenannten **Halbschatten**. **Darunter verstehen wir den Raum, wohin zwar noch Lichtstrahlen dringen können, aber nicht von jedem Punkte des leuchtenden Körpers.**

Um den Raum zu finden, welchen der Halbschatten einnimmt für den Fall, daß beide Körper, der leuchtende und der dunkle, Kugeln sind, man muß auf der Linie **ST** (Taf. **II.** Fig. 1), welche durch beide

Mittelpunkte geht, den Punkt V suchen, von welchem aus gesehen beide Kugeln unter gleichen Winkeln erscheinen. Berührungslinien, welche von V aus an die Kugel S gezogen werden, berühren auch rückwärts verlängert die Kugel T und der Raum MNHG, welchen alle diese Berührungslinien begrenzen, begreift den Halbschatten. Denn es ist klar, daß in diesen Raum zwar Lichtstrahlen eindringen, aber nicht von jedem Punkte des leuchtenden Körpers. Ein Auge nämlich, welches sich im Raume des Halbschattens befindet, sieht die leuchtende Kugel nur zum Theil, ein Stück derselben wird allemal vom dunkeln Körper verdeckt, wie es z. B. der Fall ist, wenn wir eine partiale Sonnenfinsterniß sehen, wo wir uns in der That im Halbschatten des Monds befinden. Hieraus folgt auch, daß der Halbschatten in der Nähe des Kernschattens am dichtesten ist und sich mit ihm allmählig verwischt, daher es z. B. bei Mondsinsternissen schwer ist, die Grenze des Halb- und Kernschattens genau zu beobachten. Nach außen hin aber wird der Halbschatten immer lichter und verliert sich nach und nach ins volle Licht.

Wenn mehrere Lichter vorhanden sind, welche wegen ihrer Kleinheit als Punkte betrachtet werden können, so gibt es zwar auch mehrere Schatten von verschiedener Stärke, aber diese Schatten verlieren sich nicht allmählig in einander, sondern schneiden sich scharf von einander ab. Nämlich es gibt da einen Raum, wohin gar kein Licht dringen kann, dann einen Raum, wohin nur von einem Lichte Strahlen dringen, dann einen Raum, wohin nur zwei Lichter leuchten u s. w.

§. 13.

Wenn man den Schattenraum mit einer undurchsichtigen Ebene durchschneidet, wenn man ihn z. B. auf eine weiße Wand fallen läßt, so entsteht das

Schattenbild, welches gewöhnlich schlechtweg Schatten genannt wird. Die Form des Schattenbildes richtet sich hauptsächlich nach der Beschaffenheit des Schatten gebenden Objects, dann aber auch nach der Lage der Wand und nach der Anzahl der Lichter und ihrer Beschaffenheit. Ist z. B. der Schattenraum ein Kegel, so ist das Schattenbild ein Kreis, wenn die Axe des Kegels auf der Wand senkrecht steht, aber eine Ellipse, wenn diese Axe gegen die Wand schief gerichtet ist.

Bei mehrern Lichtern wird man auch verschiedene Schatten bemerken. Zuerst kommen diejenigen, welche dem vollen Licht am nächsten kommen; wo dann zwei solche Schatten in einander greifen, da ist ein dunklerer Schatten, wo deren drei in einander greifen, ist er noch dunkler u. s. w., bis dahin, wohin gar kein Licht mehr kommen kann.

§. 14.

Es gibt keine eigentlich optischen Vorrichtungen, welche sich auf die Hervorbringung der Schatten gründeten, wenn man nicht etwa jene Spielwerke dahin rechnet, wo hinter einer transparent gemalten Landschaft allerlei bewegliche, von dickem undurchsichtigen Papier ausgearbeitete Figuren aufgestellt sind, welche allerhand Scenen vorstellen, z. B. einen Schiffbruch u. s. w. Diese Dinge sind unter dem Namen chinesische Schatten bekannt genug und verdienen hier keiner weitern Erwähnung.

Ein mehr interessanter Gebrauch des Schattens besteht in der Messung von mancherlei Höhen, z. B. von Thürmen, Bäumen u. dgl. Es sey z. B. CA (Taf. I. Fig. 6) die Länge des Schattens eines Objects AB auf ebenem horizontalen Boden, in demselben Augenblicke, wo man die Schattenlänge eines Stabes ab gleich ca gefunden hat. Da nun beide

Schatten für dieselbe Zeit genommen sind, wo die Sonne gleiche Höhe über dem Horizonte hat, so sind in den rechtwinkligen Dreiecken CAB und cab die Winkel bei A und a, durch welche die Sonnenhöhen vorgestellt werden, einander gleich und daher beide Dreiecke ähnlich. Folglich findet man die unbekannte Höhe AB, wenn man schließt: wie sich verhält die Schattenlänge des Stabes zur Länge des Stabes, also verhält sich die Schattenlänge des Objects zu seiner Höhe, ac : cb = AC : CB; folglich findet man CB durch Regel-de-tri. Man kann sich zu solchen Messungen eines Stabes von bestimmter Länge bedienen und denselben zugleich als Maasstab beim Messen der Schatten gebrauchen.

Indessen behalten alle Methoden des Schattenmessens wegen des Halbschattens eine ziemliche Unsicherheit. Da nämlich die Sonne SS′ (Taf. II. Fig. 2) kein Punkt ist, sondern unter einem Winkel von etwa ½ Grad erscheint, so bestimmt der vom obern Rande S kommende Strahl SBD das Ende eines Schattens bei D, der Strahl S′BD vom untern Rande gleichfalls das Ende eines Schattens bei E. Zwischen A und C liegt der volle Schatten, zwischen C und D der Halbschatten. Dieser mischt sich bei C mit dem vollen Schatten, bei D mit dem Lichte, so daß seine Grenze auf keiner Seite mit Bestimmtheit angegeben werden kann.

Zweites Kapitel.

Von den perspectivischen Projectionen und den optischen Anamorphosen.

§. 15.

Wir haben schon in §. 7 bemerkt, daß man eigentlich die Entfernung der Dinge nicht sehen kann; wenn daher ein Object E (Taf. I. Fig. 7) in der Richtung OE gesehen wird, so ist es gleichgültig, in welchen Punkt der geraden Linie OE das Object E gesetzt wird, wenn nur jedesmal alle seine Dimensionen denselben Sehwinkel behalten. Wir pflegen den Ort eines gesehenen Dinges, dessen Entfernung wir nicht kennen, in die hinter ihm befindliche Fläche zu setzen, wie z. B. die Sterne an die hohle Fläche des Himmels.

Wenn es aber gleichgültig ist, wohin wir den Ort eines Dinges setzen wollen, so dürfen wir auch die Oerter aller Dinge zugleich in eine Ebene setzen, welche entweder zwischen dem Auge und dem Object, oder hinter dem Object aufgestellt wird. Den in diese Fläche gesetzten Ort eines Objects nennen wir seine Projection oder sein Perspectiv. Hieraus ergibt sich das Grundgesetz für alle Arten von Projectionen:

Man ziehe vom Auge O (Taf. II. Fig. 3) nach allen Punkten A, B, C eines Objects gerade Linien OA, OB, OC. Wo eine solche Linie die Projectionsfläche MN schneidet, da ist die Projection des Punktes, nach welchem sie gezogen ist. So wäre die Projection von A in a, die von B in b, die von C in c.

§. 16.

Für die gewöhnliche perspectivische Verzeichnungsart, wie sie in der Malerei und der Architectur in Anwendung gebracht wird, ist die Projectionsfläche eine ebene Tafel MN (Taf. II. Fig. 4), welche zwischen das Object und das Auge gesetzt wird, damit die Bilder nach wahrer Größe kleiner ausfallen, als die Gegenstände, die vorgestellt werden sollen. Man stellt diese Tafel auf eine horizontale Ebene PQ, welche man den Grund oder Boden nennt, senkrecht und nennt ihren Durchschnitt AN mit dem Grunde die Grundlinie oder Fundamentallinie. Das Perpendikel OB vom Auge auf den Grund nennt man die Augenhöhe, das Perpendikel OV vom Auge auf die Tafel die Distanz oder die Augenentfernung. Den Punkt V, wo die Augenentfernung auf die Tafel trifft, nennt man den Augenpunkt.

Eine gerade Linie HR, welche durch den Augenpunkt V mit der Grundlinie AN in der Ebene der Tafel parallel gezogen wird, heißt die Horizontallinie, und nimmt man auf dieser zu beiden Seiten des Augenpunktes V die Entfernungen VH und VR der Augenentfernung OV gleich, so hat man die Distanzpunkte H und R. — Kennt man also den Augenpunkt und einen Distanzpunkt, so läßt sich hieraus sogleich der Ort des Auges finden, in welchem es stehen muß, um die Zeichnung richtig zu sehen. Man errichtet nämlich in V auf der Tafel ein Perpendikel und nimmt es dem Abstande des Distanzpunktes vom Augenpunkte gleich.

§. 17.

Die Aufgabe der Perspective ist nun die: aus der gegebenen Lage des Auges und des Ob-

jects gegen die Tafel durch eine geometrisch gesetzmäßige Zeichnung die Figur zu bestimmen, welche in der Tafel das projicirte perspectivische Bild des Objects vorstellt. Dafür bemerken wir zuerst den Satz: Die Projection einer geraden Linie ist selbst wieder eine gerade Linie. — Hiernach construirt die perspectivische Zeichenkunst ihre Bilder Punkt für Punkt und verbindet die zusammengehörigen Punkte durch gerade Linien. Dabei werden alle ihre Aufgaben durch folgende zwei Hauptaufgaben erschöpft.

1) Den Ort in der Tafel zu finden, wo ein Punkt, der im Grunde liegt, gesehen wird. Darnach lassen sich ebene Figuren verzeichnen, welche im Grunde liegen.

2) Den Ort in der Tafel zu finden, wo ein Punkt eines Gegenstandes gesehen wird, welcher nicht im Grunde liegt. Wir meinen dabei nur solche Punkte, welche über dem Grunde, d. h. mit dem Auge auf derselben Seite des Grundes liegen.

§. 18.

Um nun einen Punkt, der im Horizonte liegt, richtig auf die Tafel zu zeichnen, zieht man zuerst die Fundamentallinie AN (Taf. III. Fig. 1), so daß die Ebene des Papiers, worauf man zeichnen will, in zwei Theile zerlegt wird. Der Theil oberhalb AN stellt die Tafel vor, auf welcher die Bilder gezeichnet werden sollen. Hier bestimmt man den Augenpunkt, so wie er nach §. 16 bestimmt werden muß, daß nämlich seine Entfernung von der Fundamentallinie AN der Augenhöhe OB (Taf. II. Fig. 4) gleich wird. Durch V zieht man die Horizontallinie HR parallel mit AN und nimmt VH = VR der Entfernung des Auges von der Zeichentafel gleich, so hat man die beiden Distanzpunkte H und R.

Der Theil des Papiers unterhalb der Fundamentallinie AN stellt den Grund vor und in ihm werden die Punkte oder Figuren, die man ins Perspectiv bringen will, wie BCD, in der richtigen Lage gegen die Fundamentallinie gezeichnet.

Es sey nun z. B. der Punkt B des Dreiecks BCD, das im Grunde liegt, ins Perspectiv zu bringen. Man fällt auf die Fundamentallinie das Perpendikel BQ und zieht zwischen Q und V die Linie QV, welche man Augenlinie nennt; in derselben muß der perspectivische Ort des Punktes B liegen. Nun nehme man auf der Fundamentallinie QT = QB und ziehe zwischen T und dem Distanzpunkte H die Linie HT, die man Distanzlinie nennt. Der Durchschnitt b der Distanzlinie TH mit der Augenlinie QV ist der Punkt der Tafel, wo der im Grunde liegende Punkt B gesehen wird, also die richtige Projection von B. — Eben so bestimmt man c, indem man das Perpendikel CS fällt, SG = CS macht, die Augenlinie SV und die Distanzlinie GH zieht; der Durchschnitt c dieser beiden Linien ist die Projection des Punktes C. — Um endlich auf gleiche Weise die Projection von D zu bestimmen, fällt man das Perpendikel DE, macht EF = DE, zieht EV und FH, so ist der Durchschnitt d die Projection von D. Zieht man also bc, cd, db, so ist das Dreieck bcd die perspectivische Ansicht von BCD.

Man könnte hierbei in Verlegenheit gerathen, indem es zweifelhaft seyn könnte, nach welcher Seite man die Perpendikel auf die Fundamentallinie tragen soll; z. B. ob man das Perpendikel DE nach EF oder auf die entgegengesetzte Seite nach EF′ tragen soll. Dieses ist in der That willkührlich, nur muß man dann die Distanzlinie nach demjenigen von beiden Distanzpunkten ziehen, welcher mit der Augen-

linie EV einen Durchschnitt gibt. Macht man z. B. EF = ED, so kann nur die Distanzlinie FH gezogen werden, denn die Linie von F nach R gibt mit der Augenlinie EV keinen Durchschnitt. Macht man aber EF' = ED, so muß die Distanzlinie von F' nach R gezogen werden.

Hieraus ist klar, daß man einen Punkt im Bilde, z. B. d, durch den Durchschnitt dreier Linien, der Augenlinie und der beiden Distanzlinien, bestimmen kann. Da aber der Durchschnitt zweier Linien schon hinreichend ist, so kann man von den beiden Distanzlinien diejenige wählen, welche mit der Augenlinie die größten Winkel macht, damit sich der Durchschnitt beider so sicher als möglich erkennen läßt. Denn wenn zwei materielle Linien, die z. B. mit Bleistift oder Reißfeder gezogen sind, einen sehr spitzen Winkel mit einander machen, so vermischen sie sich bei ihrem Durchschnitt eine ganze Strecke lang, so daß der Durchschnitt nicht mehr mit Sicherheit angegeben werden kann. — Also ist zum Projiciren eines Punktes im Grunde nicht jeder Distanzpunkt gleich geschickt, für das Dreieck BCD ist z. B. H, für das Viereck IKML, R am geeignetsten.

Das Viereck IKML ist rechtwinklig und liegt mit den Punkten I und K in der Horizontallinie, also sowohl in der Ebene des Grundes als auch der Tafel, mithin sind I und K auch unmittelbar ihre Projectionen. Die Perpendikel von L und M auf die Fundamentallinie sind unmittelbar durch LI und MK gegeben, weil das Viereck rechtwinklich ist, daher IV und KK die Augenlinien für L und M sind, welche nur noch durch Distanzlinien bei l und m zu durchschneiden sind, um in der Figur IKlm sogleich die Projection oder das Bild von IKLM zu haben.

Auf gleiche Weise ist das innere und äußere Fünfeck bei U ins Perspectiv gebracht und dabei theils H, theils R als Distanzpunkt benutzt worden, wie sich aus der unmittelbaren Betrachtung der Zeichnung gar leicht ergibt.

§. 19.

Es ereignet sich oft der Fall, daß die zu projicirende Figur gegen die Fundamentallinie eine so günstige Lage hat, daß man nicht alle Punkte nach der im vorigen §. gelehrten Methode ins Perspectiv zu bringen braucht. Hieraus entstehen unzählig viele Regeln der Zeichnung für besondere Fälle, welchen in den Lehrbüchern über Perspective abgehandelt werden, die aber hier aus Mangel an Raum keinen Platz finden können. In der That sind auch jene besondern Regeln nicht sehr verborgen, so daß sie ein aufmerksamer Zeichner gar leicht selbst herausfinden wird. Nur ein Paar leichte Fälle sollen hier zur Wegweisung erörtert werden.

1) Es soll der quadratisch gepflasterte Fußboden BCED (Taf. III. Fig. 2), dessen eine Seite BC in der Fundamentallinie liegt, ins Perspectiv gebracht werden.

Man bestimme den Augenpunkt V und die beiden Distanzpunkte H und R. Da B und C in der Ebene der Tafel liegen, so fallen ihre Projectionen eben dahin. Da ferner DB auf AN senkrecht steht, so ist BV die Augenlinie für den Punkt D, und auf gleiche Weise ist auch CV die Augenlinie für E. Aber BC = BD, folglich CH eine Distanzlinie für D und daher d die Projection von D. Aus gleichem Grunde ist e die Projection von E, so daß BCed das perspectivische Bild des ganzen Quadrats BCED vorstellt.

Nun sind nur noch die quadratischen Felder mit einzuzeichnen. Hier sind aber die Punkte 1, 2, 3, 4, 5 zugleich ihre Projectionen, weil sie in der Ebene der Tafel liegen; und da die Linien 6—1, 7—2, 8—3, 9—4, 10—5 senkrecht auf AN stehen, so sind V1, V2, V3, V4, V5 Augenlinien für 6, 7, 8, 9, 10, so daß die Durchschnitte dieser Augenlinien mit de die Projectionen von 6, 7, 8, 9, 10 vorstellen. Die Projectionen von 12, 13, 14, 15, 16 und die von 17, 18, 19, 20, 21 findet man, indem man mittels der Distanzlinien H5, H4, H3, H2, H1 auf Bd und mittels der Distanzlinien R1, R2, R3, R4, R5 auf Ce nach Anleitung der Figur Durchschnitte macht. Auf diese Weise ergibt sich die Projection des gesammten Pflasters, wie aus der Figur ersichtlich ist.

Noch einfacher würde die Sache werden, wenn das Perpendikel von V auf AN die Quadratseite BC halbirte, wo dann Bd = Ce und de parallel mit BC werden würde. Hier hätte man nur durch die Durchschnitte, welche die Linie Be oder Cd mit den Augenlinien V1, V2, V3 u. s. w. bildet, zu BC Parallelen zu ziehen, um sogleich das ganze Pflaster im Perspectiv zu haben, wie sich aus der Betrachtung der Figur leicht ergibt. Denn Be ist nichts anderes, als die Projection der Diagonale BE, und die Parallelen im Viereck BCed sind die Projectionen der Parallelen 12—17, 13—18 u. s. w. im Quadrat BCED, daher auch die Durchschnitte der Parallelen im Viereck BCed mit der Diagonale Be Projectionen sind von den Durchschnitten der Parallelen 12—17, 13—18 u. s. w. mit BE.

2) Man soll das regelmäßige äußere Sechseck BCDEFG (Taf. IV. Fig. 1), welches mit einer seiner Seiten BC in der Fundamentallinie liegt und zugleich das

innere regelmäßige Sechseck IKLMNO, dessen Seiten den Seiten des äußern Sechsecks parallel sind, ins Perspectiv bringen.

Man bestimme den Augenpunkt V und die beiden Distanzpunkte H und R. Die Punkte B und C sind, wie im vorigen Falle, schon ihr Perspectiv. Zieht man nun die Diagonalen BE, CF, DG, so durchschneiden sich dieselben im Mittelpunkte P des Kreises, der um das Sechseck beschrieben werden kann. Bringt man nun nach dem gewöhnlichen Verfahren die Punkte G und P ins Perspectiv, wo die entsprechenden Projectionen g und p seyn mögen und zieht durch p die Linien gd, Be, Cf, so sind diese die Projectionen der Diagonalen GD, BE, CF ihrer Lage nach, und es fehlen blos die Projectionen der Punkte D, E, F. Um diese zu bestimmen, braucht man keine Distanzlinien mehr zu ziehen, sondern blos Augenlinien, deren Durchschnitte mit den Diagonalen gd, Be, Cf, die gesuchte Projection von D, E, F in d, e, f geben werden. So bestimmt sich d, indem man das Perpendikel DS fällt und die Augenlinie SV zieht; der Durchschnitt d derselben mit gd ist die Projection von D. — Die Senkrechten von F und E auf AN treffen in B und C und es sind daher BV, CV Augenlinien für C und E, deren Durchschnitte f und e mit Cf und Be die Projectionen von F und E abgeben.

Um die Winkelpunkte des innern Sechsecks zu projiciren, sind ebenfalls keine Distanzlinien erforderlich, sondern blos Augenlinien, deren Durchschnitte mit den Diagonalen gd, Be, Cf in l, m, n, o, i, k die Projectionen von L, M, N, O, I, K geben. Uebrigens ist aus der Figur ersichtlich, daß für die Punkte I und N, so wie für M und K nur einerlei Augenlinien gezogen werden können.

3) Eine krummlinige Figur ins Perspectiv zu bringen.

Man nimmt auf der krummen Linie so viele Punkte, als man will, bringt sie ins Perspectiv und verbindet ihre Projectionen durch eine continuirliche Linie. Jemehr man Punkte nimmt und projicirt, desto richtiger wird das Bild.

Es sey z. B. die krummlinige Figur ein Kreis K (Taf. IV. Fig. 2). Hier würde man etwa am schnellsten so zum Zwecke kommen. Man ziehe einen Durchmesser 1—9 parallel mit der Fundamentallinie AN und projicire die Punkte 1 und 9. Unter 1—9 nehme man beliebig viele Punkte auf den Halbkreis 2, 3, 4....8 und projicire sie. Indem man dabei die Perpendikel 2b, 3c....8h fällt, schneiden diese den obern Halbkreis in den Punkten 16, 15, 14....10, welche sich mittels eben der Augenlinie projiciren lassen, mittels welcher die Punkte 2, 3.....8 ins Perspectiv gebracht worden sind, denn es ist z. B. Vo nicht blos eine Augenlinie für 3, sondern auch für 15.

Die Projection eines Kreises wird eine Ellipse.

§. 20.

Wir kommen nun zur zweiten Hauptaufgabe der perspectivischen Zeichenkunst, zur Projection solcher Punkte, die nicht in der Ebene des Grundes liegen. Hier muß man nothwendig den Punkt in der Ebene des Grundes wissen, wo das Perpendikel eintrifft, welches von dem zu projicirenden Punkte auf den Grund gefällt wird, und nicht minder muß die Länge dieses Perpendikels oder die Höhe des zu projicirenden Punktes über dem Grunde bekannt seyn.

Daher fassen wir die gegenwärtige Aufgabe verständlicher so: Man soll eine gerade Linie ins

Perspectiv bringen, welche auf dem Grunde senkrecht steht.

Dies lösen wir so: Es sey (Taf. V. Fig. 1) B der Fußpunkt der Höhe oder der Punkt, in welchem die zu projicirende Linie auf der Tafel senkrecht steht, und seine Projection, welche in b seyn mag, nach §. 18 gefunden. Auf der Fundamentallinie AN nehme man willkührlich den Punkt E, errichte daselbst auf AN das Perpendikel EF und mache es der Höhe gleich, die man ins Perspectiv bringen will. Hierauf ziehe man vom Augenpunkte V aus die Linien VF, VE. Durch den in b projicirten Fußpunkt der Höhe ziehe man bG mit der der Fundamentallinie AN, GL mit EF parallel, oder GL gegen AN senkrecht, so ist GL die Linie, welcher die gesuchte Projection der in B stehenden Höhe EF gleich ist. — Es ist nur noch GL in b senkrecht gegen AN zu stellen; zieht man also bm senkrecht gegen AN und macht auf bm, indem man Lm mit AN parallel zieht, oder indem man bm = GL macht, bei m einen Durchschnitt, so ist bm die gesuchte Projection der in B auf dem Grunde senkrecht stehenden Linie EF.

Wäre in C eine eben so große Höhe EF errichtet, so würde man nur CI mit AN, IK mit EF parallel ziehen, cp gegen AN senkrecht setzen und cp = IK machen.

§. 21.

Darnach kann man nun jeden Körper ins Perspectiv bringen. Die Regel ist im Allgemeinen diese: Man läßt von allen Eckpunkten des Körpers Perpendikel auf die Grundebene herabfallen und projicirt diese Perpendikel. Doch müssen wir diese allgemeine Regel an einigen Beispielen erläutern.

1) **Man soll eine dreiseitige Pyramide ins Perspectiv bringen, welche mit der Grundfläche im Horizonte liegt.**

Zuerst muß man die Grundfläche **BCD** (Tafel V. Fig. 2) ins Perspectiv bringen nach den Regeln der §§. 17 und 18; die Projection von **BCD** sey bcd. Alsdann muß man wissen, wo der Fußpunkt K des Perpendikels hintrifft, welches von der Spitze der Pyramide auf ihre Grundfläche gezogen wird. Dieses Perpendikel ist die Höhe der Pyramide und muß nach §. 20 ins Perspectiv gebracht werden, um die Projection der Spitze der Pyramide zu haben. Daher wäre hier etwa so zu zeichnen:

Es sey die Projection von K in k. Auf der Fundamentallinie AN errichte man in dem willkührlichen Punkte E das Perpendikel EF, nehme es der Höhe der Pyramide gleich und ziehe vom Augenpunkt aus die Linien VF, VE. Gleichfalls ziehe man durch k die Linien kz senkrecht gegen die Grundlinie, ziehe KG parallel mit AN, GH parallel mit EF und mache kz = GH, so ist kz die ins Perspectiv gebrachte Höhe der Pyramide und daher z die Projection ihrer Spitze. Zieht man also die Linien zb, zd, zc, so hat man die perspectivische Ansicht der Pyramide.

2) **Es soll eine vierseitige Pyramide ins Perspectiv gebracht werden, welche mit ihrer Spitze im Grunde steht, so daß ihre Grundfläche nach oben gekehrt ist,** wie in der perspectivischen Ansicht Taf. VI. Fig. 1 zu sehen.

Wir wollen der Leichtigkeit halber annehmen, daß die Grundfläche der Pyramide mit dem Horizonte parallel sey. Der Punkt, wo ihre Spitze den Horizont berührt, sey in K, und wenn man nun von den vier Eckpunkten der Grundfläche Perpendikel auf den Horizont fällt, so wird in diesem eine vierseitige Fi-

gur BEDC entstehen. Diese Perpendikel lassen sich in der perspectivischen Ansicht selbst sehr deutlich wahrnehmen, sie sind b'b, e'e, d'd, c'c. Die Figur BCDE wird nun sammt dem Punkte K ins Perspectiv gebracht, so daß k die Projection von K, b von B, c von C, d von D. Sodann macht man das in dem willkührlichen Punkte E der Fundamentallinie stehende Perpendikel EF der gemeinschaftlichen Länge der Perpendikel gleich, welche von den Eckpunkten der Grundfläche der Pyramide auf den Horizont gefällt worden sind, zieht VF und VE', alsdann c1, b2, d3, e4 alle mit der Fundamentallinie AN parallel, und wiederum 1—5, 2—6, 3—7, 4—8 mit E'F parallel, so hat man in den letztern Linien die gesuchten perspectivischen Höhen. Zieht man also durch b, c, d, e gerade Linien, welche auf der Fundamentallinie senkrecht stehen und nimmt cc' = 1—5, bb' = 2—6, dd' = 3—7, ee' = 4—8, so hat man in b', c', d', e' die Projectionen von allen vier Ecken der Grundfläche der Pyramide. Zieht man endlich die Linien kb', kc', kd', welche die Seitenkanten der Pyramide vorstellen, und sodann b'c', c'd', d'e', e'b', so ist das perspectivische Bild der Pyramide fertig.

3) In Fig. 2, Taf. VI, sind drei viereckige Säulen, welche auf ihren Grundflächen senkrecht stehen und sämmtlich gleiche Höhe haben, ins Perspectiv gebracht. A, B, C sind die Quadrate, welche die im Horizonte liegenden Grundflächen vorstellen und müssen zuerst ins Perspectiv gebracht werden. Aus jedem Mittelpunkt erhebt sich senkrecht auf dem Horizont eine Kante von der Höhe EF und es sind nur noch diese Kanten ins Perspectiv zu bringen, damit man die Projectionen a', b', c' von denjenigen Seiten der Säulen erhält, welche der Grundfläche gegenüber liegen. — Die ganze Zeichnung ist so leicht, daß ich

sie hier nur habe andeuten wollen, damit sie von einem Jeden, dem es beliebt, leicht ausgeführt werden könne.

4) Man soll ein regelmäßiges sechsseitiges prismatisches Gefäß (Taf. VII. Figur 1) ins Perspectiv bringen.

Die Grundfläche dieses Gefäßes ist ein regelmäßiges Sechseck, dessen perspectivische Ansicht abcdef seyn mag. Um die Zeichnung möglichst einfach zu machen, ist das Sechseck mit der Seite ab in die Fundamentallinie so gelegt, daß sein Mittelpunkt, dessen Projection in K, in das vom Augenpunkte V auf die Fundamentallinie gezogene Perpendikel fällt. Dann steht nämlich der Beobachter mitten vor dem Gefäße, das jetzt gezeichnet werden soll und hat auf beiden Seiten dieselbe Ansicht.

In dem genannten Sechseck bilden die Seitenwände des Gefäßes noch ein inneres a′b′c′d′e′f′, dessen Seiten mit den Seiten des erstern parallel sind und dieses muß gleichfalls ins Perspectiv gebracht werden.

Nunmehr sey EF die allenthalben gleiche Höhe des Gefäßes, so ergeben sich die perspectivischen Höhen auf folgende Weise: Der angezeigten Lage des Sechsecks gemäß, welches die Grundfläche des Gefäßes vorstellt, ist a′b′ mit der Fundamentallinie AE parallel und eben so auch ed, e′d′; auch geht die durch f mit der Fundamentallinie gezogene Parallele durch f′, e′, c. Zieht man daher b′ mit AE und 1—5 mit EF parallel, so ist 1—5 die perspectivische Höhe des Gefäßes bei a′ und b′. Gleichergestalt ist 2—6 die perspectivische Höhe bei c, c′, f′, f; 3—7 dasselbe bei d′, e′ und 4—8 bei d und e. Die perspectivischen Höhen der Punkte a und b, welche in der Fundamentallinie liegen, hat man unmittelbar in EF. Ziehe man also durch a,b,c,d,e,f,

a', b', c', d', e', f Linien, welche gegen die Fundamentallinie senkrecht stehen und macht $ag = bh = EF$; $a'g', b'h' = 1—5$, $fm = f'm' = c'i = ci = 2—6$; $e'l' = d'k' = 3—7$; $el = dk = 4—8$, so hat man die Projectionen aller Punkte, welche zur perspectivischen Zeichnung des Gefäßes erfordert werden und welche nur noch nach Anleitung der Figur durch gerade Linien zu verbinden sind. — In gegenwärtiger Zeichnung sind nur die wirklich sichtbaren Linien stark ausgezogen, die übrigen unsichtbaren aber blos punktirt. — Auch ist zu bemerken, daß die Distanzpunkte hier nicht angegeben sind, da sie noch über die Seiten des Rechtecks, welches die Figurentafel einschließt, hinausfallen, welches auch bei Fig. 2 der Fall ist.

5) In Fig. 2, Taf. VII. sind zwei senkrecht stehende Kreuze ins Perspectiv gebracht, die durch rechtwinklige Zusammenfügung zweier rechtwinkligen Parallelepipede von gleicher Breite und Höhe, aber verschiedener Länge entstanden sind. Fällt man da von den Eckpunkten des Querbalkens die in der perspectivischen Zeichnung ersichtlichen Perpendikel aA. $g'g$, $a'A$, $g''g$ auf den Boden, so entsteht ein Rechteck AGKD, in welchem das Quadrat BHIC enthalten ist. Die Seite AD dieses Rechtecks soll in der Fundamentallinie liegen.

Zunächst bringt man nun das im Boden liegende Rechteck AGKD mit dem Quadrat BHIC ins Perspectiv. Alsdann nimmt man in dem willkührlichen Punkte E die EF senkrecht auf der Fundamentallinie AE, macht EF gleich der Höhe des Kreuzes bis zum Querbalken, FF' gleich der Höhe des Querbalkens und F'F'' der noch übrigen Höhe des Kreuzes gleich.

Es ist nun gk mit der der Fundamentallinie parallel. Zieht man daher kL mit AE, LQ mit EF″ parallel, so hat man in den Linien LM, LP, LQ die sämmtlichen zu projicirenden Höhen. In den Punkten A, B, C, D, die in der Fundamentallinie liegen, kommen nämlich die perspectivischen Höhen mit den wahren überein; daher macht man Aa = Dd = EF, Aa′ = Dd′ = EF′, Bb″ = Cc″ = EF″; ferner gg″ = kk″ = LP, hh‴ = ii‴ = LQ, und man kann nun nach Anleitung der Figur sogleich die erforderlichen Linien ziehen, um die Projection des Kreuzes zu haben. Hier sind ebenfalls die sichtbaren Linien stark ausgezogen, die nicht sichtbaren aber blos punktirt. — Die Projectionen der Punkte b, c, d, b′, c′ u. s. w. ergeben sich von selbst durch die Durchschnitte der Linien Bb″ und ad, a′d′ u. s. w.

Noch ist hier ein zweites Kreuz ins Perspectiv gebracht, wobei das vorher beschriebene im Grunde liegende Rechteck U eine andere Lage gegen die Fundamentallinie hat. Hierbei erhält man also für jeden andern Punkt im Grunde eine andere perspectivische Höhe, wie die Zeichnung, die übrigens keiner weitern Erklärung bedarf, deutlich nachweist.

§. 22.

Unterschied zwischen der gebundenen und freien Ansicht einer perspectivischen Zeichnung.

Das perspectivische Bild, welches wir in den vorigen §§. zu entwerfen gelehrt haben, kann nur dann die richtige Wirkung hervorbringen, wenn es genau von dem Standpunkt aus betrachtet wird, welchen wir für den Ort des Auges bei Ausführung der Zeichnung festgesetzt haben. Dieser Ort ist durch den Augenpunkt V und den Distanzpunkt H (Ta-

fel VI. Fig. 2), wie schon §. 15 bemerkt worden, dadurch zu finden, daß man auf der Zeichentafel im Augenpunkte V ein Perpendikel errichtet und dasselbe dem Abstande VH des Distanzpunktes vom Auge gleich macht. Dieses Aufsuchen des Ortes, worin das Auge stehen muß, würde entweder sehr unbequem seyn, oder es müßte jener Ort schon markirt vorgefunden werden, wie z. B. wenn das Gemälde in einem Guckkasten eingeschlossen wäre und durch ein Loch betrachtet würde. Hierbei wäre aber der Zweck eines Gemäldes ganz verfehlt, von welchem man eine freie Ansicht aus mäßiger Ferne verlangt, damit es wirklich einem Zimmer zur Zierde gereichen kann. Hier kann man also dem Beobachter nicht zumuthen, sich an einen festen Ort des Auges zu binden, sondern der Effect des Gemäldes muß in der Hauptsache derselben bleiben, man mag es aus einer geringern oder größern Entfernung betrachten und dabei entweder mitten vor dem Gemälde stehen oder um ein Weniges auf die eine oder die andere Seite getreten seyn.

Wenn dieser Zweck erreicht werden soll, so darf sich das Verhältniß der Sehwinkel der einzelnen Gegenstände im Gemälde bei den angezeigten Veränderungen nicht merklich ändern. Dieses kann man nur dadurch erreichen, daß die Sehwinkel nicht sehr groß genommen werden, nämlich nur so groß, daß ihr Verhältniß nicht merklich von dem Verhältniß ihrer Tangenten abweicht. Den größten Sehwinkel hat die größte Linie im Gemälde, welche, wenn die Tafel ein Rechteck ist, die Diagonale dieses Rechtecks ist. Man hat aber ausgemacht, daß der größte Sehwinkel eines Gemäldes, welches frei betrachtet werden soll, nicht über 90° betragen darf, daher man also den Distanzpunkt wenigstens so weit herausrücken muß, daß die längste Linie in der Zeichentafel unter einem Winkel von 90° erscheint.

Vielleicht ist aber die Ausdehnung des größten Sehwinkels bis auf 90°, welcher zugleich der größte ist, den das Auge mit einem Ueberblick noch deutlich zu fassen vermag, viel zu groß, und man wird Grund genug haben, bis auf etwa 40 bis 50 Grad herabzugehen. Hiernach wäre dann die Entfernung des Distanzpunktes vom Augenpunkte einzurichten.

Man hat der Zeichentafel die Form eines Quadrates gegeben, den Augenpunkt in dessen Mitte angenommen und den Distanzpunkt um die Diagonale dieses Quadrats vom Augenpunkt abgerückt. Dieses gibt einen Sehwinkel der Diagonale der Tafel von etwa 53°, welcher zugleich der größte wäre. Es ist indessen keine Nothwendigkeit da, der Zeichentafel eine solche Form zu geben, vielmehr kann man ihre Fläche unbegrenzt voraussetzen; man muß aber den Distanzpunkt vom Augenpunkte so weit abrücken, daß der größte Sehwinkel (das Gesichtsfeld) nicht mehr als etwa 50° beträgt.

In den Beispielen, wodurch wir die perspectivische Zeichnungsart erläutert haben, ist der Abstand des Distanzpunktes vom Augenpunkte nur gering genommen worden, weil es der Raum nicht gestattet, ihn größer zu nehmen. Man kann jedoch leicht die erforderliche Aenderung vornehmen.

Bei der Bestimmung der Entfernung des Distanzpunktes vom Augenpunkte kann man am besten die Höhe des letztern über der Fundamentallinie zu Grunde legen, oder in Taf. II. Fig. 4 die Linien OB. Wenn man da VR $1\frac{1}{2}$ bis 2 Mal so groß nimmt, als OB, so wird allen Erfordernissen einer freien Ansicht des Bildes Genüge geschehen seyn.

§. 23.

Wir wollen hier nur noch die Frage erörtern: Ob eine Kugel eirund, d. h. elliptisch oder

kreisförmig gezeichnet werden müsse? Es ist aber klar, daß eine Kugel, wie z. B. die Sonne oder der Mond, immer kreisrund gesehen wird, sie mag betrachtet werden, von wo aus man will, und wenn der Mittelpunkt der Kugel in dem Perpendikel OV liegt, das vom Auge auf die Tafel gefällt wird, so wird auch die Projection derselben ein Kreis seyn; liegt aber der Kugelmittelpunkt zur Seite von OV, so muß das Bild des Kreises, unter welchem die Kugel erscheint, eine Ellipse werden, damit diese von O aus gesehen, wieder als Kreis erscheinen und eine Kugel vorstellen kann. Indessen wird diese Ellipse, wenn das Gesichtsfeld des Gemäldes nur klein ist, von einem Kreise nicht viel abweichen, daher man bei freier Ansicht der Zeichnung die Kugel geradezu als Kreis zeichnet. Dieses wird auch um so nöthiger deshalb, damit man nicht etwa die Abweichung merke, wenn das Bild von einem andern Standpunkt aus betrachtet wird, als für den es gezeichnet worden ist.

Zu diesen Regeln der freien Perspective, welche ihre Zeichnungen blos nach dem Verhältniß der Sehwinkel entwirft, kommen für die Kunst in ästhetischer Hinsicht noch die Fictionen der Einbildungskraft hinzu, von welchen wir hier natürlich schweigen müssen, so wenig es auch hier unsere Absicht seyn konnte, durch unsern kurzen Abriß von den Gesetzen für perspectivische Zeichnungen eine vollständige Fertigkeit in den Ausübungen dieser Kunst zu geben; wir behalten uns aber dieses für ein anderes Werk vor, welches über diesen Gegenstand ausführlich handeln wird.

§. 24.

Vom perspectivischen Schatten.

Ein Bild, welches nach den Gesetzen der Perspective gezeichnet worden ist, bekommt erst vollkomm-

nen Ausdruck der Körperlichkeit durch den Schatten, indem nämlich diejenige Seite des im Bilde vorgestellten Körpers, welche vom Licht abgewandt ist, mit einer dunkleren Farbe bemalt wird, während die Seiten, auf welche das Licht ungehindert auffallen kann, weiß gelassen werden, oder im colorirten Bilde lichtere Farben bekommen. Dies ist die Kunst des Schattirens, welche der Maler im höchsten Grade verstehen muß, wenn sein Bild einen guten Eindruck machen soll. — Jemehr eine Seite des Körpers dem Licht ausgesetzt ist, desto mehr leuchtet es, und so finden nach einander gewisse Abstufungen in der Beleuchtung statt bis zum tiefsten Schatten. — Daher muß man die Schattirung aus der Stellung des Lichtes gegen die beleuchteten Körper zu beurtheilen wissen, und dabei auch wohl in Obacht nehmen, daß es auch Stellen gibt, in welche zwar unmittelbar kein Licht dringt, die aber von neben befindlichen beleuchteten Stellen um ein gutes Theil wieder erhellt werden. Eben so ist bei runden Körpern das allmähliche Uebergehen des vollkommensten Schattens in das höchste Licht ein Gegenstand, dem die größte Sorgfalt gewidmet werden muß. Doch die Ausführung desselben liegt hier nicht in unserm Plane.

§. 25.

Aber eine zweite Frage bezieht sich auf das perspectivische Bild des Schattens, welchen ein Körper auf dem Boden, darauf er steht, verursacht, oder an einer senkrechten Wand, die ihm gegenüber steht und zwar mit Unterscheidung der beiden Fälle, ob das Licht von einem einzigen Punkte ausgeht, wie z. B. von einer des Nachts brennenden Kerze, oder ob die Strahlen in unter sich parallelen Richtungen fortströmen, wie es z. B. bei Beleuchtungen durch das Sonnen-

licht der Fall ist. Diese Aufgaben müssen wir noch etwas näher betrachten.

Wir wollen also zunächst untersuchen, wie der Schatten ins Perspectiv gebracht werden muß, den ein Körper auf dem Boden verursacht, und zwar zuerst für den am häufigsten in Anwendung kommenden Fall, daß die Lichtstrahlen unter sich parallel fortgehen. Der Leichtigkeit der Zeichnung halber macht man auch zugleich noch das Gesetz, daß die Richtung des Lichtes gegen den Grund und die Tafel um einen Winkel von 45 Graden geneigt seyn sollen und läßt die Strahlen von der linken Seite des Bildes herkommen, so daß also die in Rede stehenden Schatten auf der rechten Seite der Schatten gebenden Objecte liegen.

Unter diesen Bedingungen wollen wir zuerst den Schatten eines in I auf dem Boden senkrecht stehenden Stabes von der Höhe EF zeichnen (Taf. VIII. Fig. 1). Da nun das Licht unter einem Winkel von 45° gegen die Tafel geneigt ist, so ist klar, daß der Schatten IG, den der Stab auf dem Boden verursacht, der Höhe des Stabes gleich ist; denn man ziehe den äußersten Lichtstrahl KG, den der senkrecht stehende Stab IK (Taf. VIII. Fig. 1ª) noch vorbei läßt, so ist in dem rechtwinkligen Dreieck IGK, welches den Schattenraum begreift, der Winkel IKG = 45°, also auch IGK = 45° und daher der Schatten IG gleich der Höhe IK.

Die Richtung IG, welche der Schatten im Boden hat, macht mit der Fundamentallinie nach der obigen Voraussetzung gleichfalls einen Winkel von 45°, und zieht man GD senkrecht auf AN, IL parallel mit AN, so ist in dem rechtwinkligen Dreieck jeder spitze Winkel = 45° und daher IL = GL. Soll nun der Schatten IG ins Perspectiv gebracht werden, so muß man die Projectionen i, g der Punkte

I, G suchen. Hier ist aber leicht klar, daß den Punkten I, G dieselbe Distanzlinie HR angehört; denn man erhält die Distanzlinie für I, indem man IB auf AN senkrecht zieht und HB = IB macht; daher ist DH = DG und also auch HR eine Distanzlinie für G. Hieraus folgt der Satz:

Der Schatten eines auf dem Boden senkrecht stehenden Stabes hat im perspectivischen Bilde die Richtung der Distanzlinie, welche von der Projection i des Fußpunktes des Stabes nach dem Distanzpunkte R gezogen wird, welcher zur rechten Seite des Augenpunktes V liegt.

Nun ist noch die Augenlinie VD des Punktes G zu bestimmen. Es ist aber BD = IL, also BD die Seite eines Quadrates, dessen Diagonale der Höhe des Schatten gebenden Stabes gleich ist. Diese Linie kann auf mancherlei Weise gefunden werden, z. B. indem man ein gleichschenklig rechtwinkliges Dreieck IGK macht und in demselben die Katheten IK und IG der Höhe des Stabes gleich nimmt. Die Hälfte der Hypothenuse KG ist dann der Länge BD gleich, welche wir kurz mit L bezeichnen wollen.

Daher ergibt sich für die Zeichnung des Schattens eines im Boden senkrecht stehenden Stabes leicht folgende Regel: Man projicire den Fußpunkt I des Stabes in i, indem man die Distanzlinie HR nach dem linken Distanzpunkte R zieht. Alsdann sucht man aus der gegebenen Höhe des Stabes die Linie L, macht BD = L und zieht VD, so ist g die Projection von G und ig der gesuchte Schatten.

Vermittels dieser Regel wird auch der Schatten jedes Körpers gezeichnet, indem man nur die Schatten der Perpendikel ins Perspectiv zu bringen hat, welche erforderlich sind, um die Projectionen der au-

ßer dem Boden liegenden Punkte des Körpers zu finden. Wir wollen dieses in dem folgenden Paragraphen an ein Paar Beispielen erläutern.

§. 26.

1) Es soll der Schatten eines auf dem Boden stehenden rechtwinkligen Parallelepipedums bestimmt werden (Taf. VIII. Fig. 2).

Die Grundfläche **ABCD** des Parallelepipedums sey ein Quadrat, das mit der Seite **AB** in der Fundamentallinie liegen mag. Die Höhe sey der Linie **EF** gleich. Zuerst bringe man das Parallelepipedum nach den angezeigten Regeln ins Perspectiv und bemerke die Distanzlinien **cR**, **AR**, **BR**. Hierauf bestimme man aus der Höhe **EF** die im vorigen §. angegebene Linie **L**, mache **BN = L** und ziehe **VL**, so ist **Bb''** der Schatten der Kante **Bb'**, **dd''** der Schatten der Kante **dd'**, oder mit andern Worten, durch die Punkte **b''**, **d''** ist die Schattengrenze bestimmt. Gleichergestalt mache man auch **AM = L** und ziehe **VM**, so bestimmt der Punkt **c''** gleichfalls die Schattengrenze und entspricht der Ecke **c'** des Parallelepipedums. In **a''** würde das Ende des Schattens von der Kante **Aa'** hinfallen, also in den vom Parallelepipedum beschatteten Raum des Bodens, daher **a'** keine Schattengrenze seyn kann. Hieraus ergibt sich nun das ganze Schattenbild in der Weise, wie aus der Figur ersichtlich ist.

2) Man soll das perspectivische Bild des Schattens bestimmen, welchen eine auf der Spitze stehende vierseitige Pyramide verursacht (Taf. IX. Fig. 1).

Man fälle von den Eckpunkten **a, b, c, d** der Grundfläche Perpendikel **aA**, **bB**, **cC**, **dD** auf den Boden und suche nach §. 24 die Schatten dieser Perpendikel, so daß **Bb'** der Schatten von **Bb**, **Cc'** der von **cC**, **Dd'** der von **Dd** und **Aa'** der von **Aa**.

so bestimmen die Punkte a′, b′, c′, d′ die Grenze des Schattenbildes. Der Punkt a′ liegt hinter der Pyramide und wird dem Auge von ihr verdeckt. Zieht man also k c′, b′ c′, c′ d′, d a′, so ist der Schatten fertig.

3) Auf gleiche Weise wird auch der Schatten des Kreuzes, Taf. IX. Fig. 2, bestimmt. Nachdem dieses Kreuz nach §. 5 und Taf. VII. Fig. 2 ins Perspectiv gebracht worden, sucht man die Schatten der Perpendikel **Bb**, **Cc**, **Aa**, **ee′**, **Dd** u. s. w., so erhält man auf gleiche Weise die Grenzpunkte des vom Kreuze verursachten perspectivischen Schattenbildes. Es ist nicht nöthig, die Zeichnung genauer zu beschreiben, da sie ein Jeder bei einiger Aufmerksamkeit leicht selbst wird erklären können.

§. 27.

Wenn die Lichtstrahlen nur von einem einzigen Punkt ausgehen, wie z. B. von einer Lampe oder Fackel, so breiten sie sich bei ihrem Fortgang immer mehr und mehr aus, und es muß daher der auf dem Boden entstehende Schatten einen größern Raum einnehmen, als wenn die Strahlen unter sich parallel fortgingen. Es ist auch in diesem Falle leicht, das perspectivische Bild des Schattens zu zeichnen, und ich glaube, daß man leicht aus folgenden zwei Beispielen abnehmen wird, wie in jedem andern Falle zu verfahren sey.

1) Es sey also der Schatten einer auf der Spitze stehenden dreiseitigen Pyramide ins Perspectiv zu bringen (Taf. X. Fig. 1).

Denkt man sich durch den leuchtenden Punkt **L** und durch einen Endpunkt der Pyramide, z. B. durch **C**, eine Ebene **LIc′** gelegt, welche auf dem Grunde senkrecht steht, und in dieser Ebene die Linie **L C** bis zu ihrem Durchschnitte **c′** mit dem Grunde gezogen, so ist

klar, daß bei c' eine Grenze des Schattens seyn muß, indem der Lichtstrahl LC von der Ecke C nicht vorbei gelassen wird. Fällt man nun vom leuchtenden Punkte L in der Ebene LIc' ein Perpendikel LI auf die Durchschnittslinie Ic' dieser Ebene mit Grunde, so steht LI auch auf dem Grunde senkrecht, und so steht auch das Perpendikel Cc von C auf Ic auf dem Grunde senkrecht. Hieraus entspringt folgende Regel für die Zeichnung des Schattens:

Man fälle vom Lichte L und von den Eckpunkten A, B, C des Schatten gebenden Körpers Perpendikel LI, Aa, Bb, Cc auf den Grund herabfallen und bringe dieselben nach den angezeigten Regeln ins Perspectiv. Von der Projection L des leuchtenden Punktes ziehe man durch die projicirten Eckpunkte des Körpers gerade Linien La', Lb' Lc' und von der Projection I des Fußpunktes des vom Lichte herabgelassenen Perpendikels wiederum gerade Linien durch die projicirten Fußpunkte der von den Eckpunkten des Körpers gefällten Perpendikel Ia', Ib', Ic', so geben die Durchschnitte dieser Linien mit den erstgenannten in a', b', c' die Schattengrenzen an. Zieht man Kb', b'c', c'a', Ka', so ist der Schatten fertig. Der Punkt a' liegt hinter der Pyramide und kann daher nicht gesehen werden.

2) Man soll den Schatten des Würfels (Taf. X. Fig. 2) ins Prospectiv bringen.

Hier sind die Kanten des Würfels schon die von seinen Eckpunkten herabzulassenden Senkel. Nachdem man also den Würfel und das Licht L sammt dem Fußpunkte I des vom Lichte herabgelassenen Perpendikels ins Perspectiv gebracht hat, zieht man durch L und D, B, C die Linien Ld', Lb', Lc' und durch I und d, b, c die Linien Id', Ib', Ic', so hat man in b', c', d' die Grenzpunkte des Schattens. Zieht man daher bb', b'c', c'd', d'd, so ist der Schatten fertig.

§. 28.

Um das perspectivische Bild des Schattens zu bestimmen, den ein Körper an einer gegenüberstehenden Wand verursacht, sey letzterer z. B. eine dreiseitige Pyramide **ABCK** (Taf. X. Fig. 3). Nachdem man dieselbe, sammt dem Schatten **CGB**, den sie auf dem Boden verursacht, ins Perspectiv gebracht hat, bringt man auch die Wand **PR** ins Perspectiv und bemerkt ihren Durchschnitt **PQ** mit dem Grunde, wodurch man auch ihren Durchschnitt **bd** mit dem Schattendreieck des Kegels erhält. Durch den Punkt **k'**, wo die durch **l** und **k** gezogene Linie die **PQ** schneidet, zieht man **KM** senkrecht auf die Fundamentallinie und bemerkt ihren Durchschnitt **M** mit der durch das Licht und die Pyramidenspitze gezogenen Linien **LG**, so ist **bMd** der gesuchte Schatten.

Der von der Pyramide auf dem Boden verursachte Schatten wird so bestimmt: **l** und **k** sind die projicirten Fußpunkte der vom Licht und der Pyramidenspitze herabgelassenen Perpendikel. Zieht man nun durch **L** und **K** und durch **l** und **k** die Linien **LG** und **lG**, so ist in **G** die Schattengrenze und daher **CGB** der verlangte Schatten.

§. 29.

Instrumente zum Abzeichnen von Gegenständen in der Natur.

Um einem ungeübten Augenmaaße beim Abzeichnen von Gegenständen der Natur, z. B. Landschaften, Gebäuden, zu Hilfe zu kommen, hat man mehrere Vorrichtungen, von denen die meisten auf Brechung und Spiegelung der Lichtstrahlen sich gründen und daher erst in der Catoptrik und Dioptrik beschrieben werden können. Aber eine sehr bequeme und einfache und daher auch ohne Aufwand leicht anzu-

schaffende Vorrichtung gründet sich lediglich auf den ununterbrochnen geradlinigen Fortgang des Lichtes und darf daher nicht übergangen werden.

Dieses Instrument besteht aus einem aus hölzernen Latten zusammengefügten Rahmen, welcher im Lichten genau die Form eines Quadrats hat. Jede Seite des Rahmens ist in eine Anzahl gleicher Theile getheilt, in die Theilpunkte sind Löcher eingebohrt und durch die correspondirenden Löcher der gegenüberliegenden Latten nicht allzuschwache Faden gezogen, so daß die lichte Weite des Rahmens in lauter gleiche Quadrate zerlegt wird und ein Gitter formirt. In der Mitte C der untersten Latte ist senkrecht auf der Fläche des Rahmens eine andere Latte B befestigt, auf deren Ende das Stück D senkrecht und mit dem Rahmen auf einerlei Seite steht. Dieses Stück trägt oben ein metallenes rundes Plättchen E mit einem Loche, welches nur eben so groß ist, daß das Auge mit Deutlichkeit die Gegenstände durch dasselbe erkennen kann, und nicht etwa durch die Röhre, welche das Löchelchen wegen der Dicke des Metallplättchens formirt, das Gesichtsfeld so beschränkt werde, daß man nicht den ganzen Rahmen übersehen könne. Doch darf das Loch auch nicht so groß seyn, daß das hindurchsehende Auge wanken und im Bezug auf den auf die Fäden des Rahmens bezogenen optischen Ort eines Gegenstandes Zweifel entstehen könnte. Die Höhe des Loches über der Latte B muß gerade mit der Mitte des Rahmens im Lichten zusammenfallen, d. h. ein vom Loche herabgelassenes Loth muß auf den Durchschnitt der beiden Diagonalen des Rahmens treffen. Das Metallplättchen darf nicht glänzen, damit nicht etwa das hindurchsehende Auge geblendet werde. Endlich muß das Loch vom Rahmen so weit entfernt seyn, daß der Sehwinkel des letztern nicht größer wird, als wegen der freien Ansicht eines per-

spectivischen Bildes gestattet werden kann, daher man die genannte Entfernung etwa der Diagonale des Rahmens, höchstens aber der halben Diagonale gleich machen darf.

Will man nun vermittels dieses Instruments, das übrigens der Bequemlichkeit halber auf einem dreibeinigen Stative stehen kann, einen Gegenstand, z. B. eine Landschaft, abzeichnen, so setzt man es vor dieselbe hin, daß man die Gegenstände, welche man ins Bild bringen will, im Gitter des Rahmens erblickt. Auf dem Papier, auf welchem man die Zeichnung entwerfen will, verzeichnet man ebenfalls ein Quadrat, das sich nach der Größe des Bildes richtet und theilt dasselbe durch Querlinien in eben so viele kleinere Quadrate, als der Rahmen getheilt ist. Nun gibt man Acht, in welchem Quadrate des Rahmens ein Punkt des abzuzeichnenden Gegenstandes durch das Löchelchen der Platte E gesehen wird und trägt denselben in das entsprechende Quadrat auf dem Papiere, wobei man die ohngefähre Stelle, welche der Punkt im Quadrat einnimmt, nach dem Augenmaase genau genug treffen kann. Auf diese Weise kann man alle Haupttheile des Gegenstandes leicht nach dem richtigen Verhältniß ihrer Sehwinkel aufzeichnen, so daß man hernach die übrigen Theile auch ohne das Instrument richtig auftragen kann, indem man nun Anhaltepunkte hat, von welchen das Augenmaas richtig geleitet wird.

Jemehr man Fäden in den Rahmen einzieht, desto leichter würde die Bestimmung des Ortes eines Objectes werden, aber es würde auch zugleich schwerer, das Quadrat, in welches der Ort fällt, abzuzählen, daher man die Anzahl der Fäden nicht größer nehmen darf, als zur Unterstützung des Augenmaases hinreichend ist.

§. 30.

Die perspectivischen Anamorphosen.

Hierunter versteht man Zeichnungen, welche ungemein verzerrt und mißgestaltet erscheinen, wenn sie nicht vom rechten Gesichtspunkt aus betrachtet werden. Man kann mehrere Arten derselben erdenken, doch wollen wir nur zwei beschreiben.

Eine gewöhnliche Art optischer Anamorphosen besteht in einer ungemein in die Höhe und nach oben zu in die Breite gezogenen Zeichnung, welche dann regelmäßig erscheint, wenn man sie auf ein Bret AB legt (Taf. XI. Fig. 2) und durch das Loch O eines andern auf dem erstern senkrecht stehenden Bretes betrachtet. Man denke sich nämlich in einiger Entfernung von dem Brete AC parallel mit ihm eine Bildesfläche DE aufgestellt und projicire das Bild von dem Orte O des Auges aus auf das Bret AB. Es geschieht dieses nach dem ersten Grundsatze der Perspective dadurch, daß man von O aus durch alle Punkte des Bildes auf DE gerade Linien zieht und sie so weit verlängert, bis sie die Fläche AB schneiden; in diesen Durchschnitten liegen die Projectionen der entsprechenden Punkte des Bildes DE. So ist z. B. die Projection von M in n und die von N in n und hieraus ist klar, daß die Linie M, welche im Bilde DE nur kurz seyn kann, in der Projection mn auf der Fläche AB sich doch ungeheuer in die Länge ausdehnen kann. Eben so muß sich auch eine Linie tu (Taf. XI. Fig. 3), welche mit der Fläche des Bretes AB (Fig. 2) etwa parallel laufen mag, in der Projection t′u′ desto mehr in die Breite ziehen, je später die verlängerten Linien Ot, Ou das Bret AB treffen. Wenn daher ein Beobachter das auf dem Brete AB befindliche Bild frei vor sich hat, so wird es ihm höchst verzerrt und mißgestaltet er-

scheinen, weil er es nicht vom rechten Augenpunkt aus betrachtet; sobald er aber durch das Loch O in dem Brete AC sieht, also den richtigen Standpunkt angenommen hat, so ist das Verhältniß der Sehwinkel im deformirten Bilde dasselbe, als wenn ein wohlgezeichnetes Bild gleicher Art in DE stünde, durch die ungewöhnliche Stellung, in welcher der Beobachter das Bild betrachtet, läßt er leicht sein Urtheil über die wahre Entfernung der Punkte m und n fahren, so daß er dieselben in M und N zu sehen glaubt und somit in MN ein regelmäßiges Bild der verzerrten Länge mn erblickt. Seine Einbildungskraft selbst unterstützt ihn hierbei, welche geschäftig ist, sich eher ein regelmäßiges, als ein verzerrtes Bild vorzustellen, und so glaubt er eine in DE aufgestellte ganz regelmäßige Zeichnung zu erblicken.

Um hiernach ein regelmäßig gezeichnetes Bild so zu verzerren, daß es von O aus betrachtet wieder regelmäßig erscheint, kann man am leichtesten folgendermaasen verfahren. Man schließt das zu verzerrende Bild in ein Rechteck ABCD ein (Taf. XII. Fig. 1), so daß eine Seite desselben in der Durchschnittslinie DG (Taf. XI. Fig. 2) liegt, in welcher die Tafel DE, worauf das regelmäßige Bild gedacht wird, die Tafel AB schneidet. Man theilt die Grundlinie AB (Taf. XII. Fig. 1) dieses Rechtecks in eine Anzahl gleicher Theile und trägt diese Theile auch in die Seite AD ein, so daß das ganze Rechteck in lauter kleine Quadrate zerlegt wird. Sollte ein Theil auf AB nicht gerade in AD aufgehen, was meistentheils der Fall seyn wird, so setzt man noch ein kleines Stückchen an AD hinzu oder läßt ein solches hinweg.

Nun zieht man eine Linie Pm (Taf. XII. Figur 2) und setzt auf sie in P die Augenhöhe PO rechtwinklig auf, welche Augenhöhe nichts anderes ist,

als das Perpendikel OP (Taf. XII. Fig. 2) von dem Loch O auf das Bret AB. Alsdann macht man PQ gleich der Entfernung des Auges von der Fläche, auf welcher das regelmäßige Bild in Folge der Augentäuschung gesehen werden soll (in Taf. XI. Fig. 2 die Linie PQ als Entfernung der Ebenen AC und DE), errichtet in Q ein Perpendikel Qd und nimmt es der Höhe AD des Rechtecks gleich (Fig. 2), in welches das regelmäßige Bild eingeschlossen ist. Zugleich trägt man auf Qd die Theile der AD, zieht durch O und d und eben so durch O und die Theilpunkte der Qd gerade Linien und bemerkt ihre Durchschnitte mit der Linie Pm. Hierbei muß bemerkt werden, daß die Höhe des genannten Rechtecks kleiner seyn muß, als die Augenhöhe, weil sonst die Linie OD gar nicht mit der Linie Pm zusammentreffen würde.

Hierauf nimmt man QA gleich der halben Grundlinie AB des Rechtecks ABCD und auf der verlängerten QA die Linie QB = QA, zieht durch m zw senkrecht auf Pm und bemerkt die Durchschnitte z und w der zw mit den durch P und A, P und B gezogenen geraden Linien Pz, Pw: so hat man in der vierseitigen Figur ABwz das auf die Ebene AB (Taf. XI. 2) projicirte Rechteck ABCD (Tafel XII. Fig. 1).

Ferner theilt man zw in eben so viel gleiche Theile, als man auf der Grundlinie AB des Rechtecks ABCD genommen und zieht nach den Theilpunkten a, b, c, e u. s. w. von P aus gerade Linien, welche man nur von da an sichtbar zu machen braucht, wo sie die Linie AB schneiden. Durch die Punkte n, o, p, q, r, s, t, u zieht man endlich senkrechte auf PM, so ergibt sich die Projection des Rechtecks ABCD mit sammt seinen Quadraten.

In die viereckigen Abtheilungen des Vierecks A B w z werden nun die Theile der auf dem Rechteck A B C D befindlichen Figur nach Anleitung des Quadratnetzes eingezeichnet, wodurch man natürlich ein eben so verzerrtes Bild erhält, als die projicirten Quadrate verzerrt sind. — Je mehr man Quadrate in das Rechteck A B C D eingezeichnet hat, desto sicherer wird man auch das deformirte Bild entwerfen können.

Andere Arten von Anamorphosen entstehen, wenn man ein Bild auf eine Kegelfläche zeichnet und dabei den Augenort in der verlängerten Axe nimmt. Es ist einleuchtend, daß das Bild sehr verzerrt erscheinen muß, wenn es von einem andern Punkt aus betrachtet wird.

§. 31.

Ein anderes hierher gehöriges Spielwerk, das man in optischen Kabinetten oft antrifft, sind die sogenannten Tabulae striatae, welche man erhält, wenn man ein Bild in Streifen zerschneidet und dieselben auf dreiseitige hölzerne Prismen, die auf einem ebenen Brete neben einander gelegt sind, so aufleimt, daß sie alle entweder auf der rechten, oder der linken Seite der Prismen sich befinden. Es sey AB (Tafel XIII. Fig. 2) ein Durchschnitt einer solchen Prismenreihe und O der Ort, in welchem das Auge stehen soll. Zieht man nun OB, OC, Ob, Od u. s. w., so ergibt sich mittels der Linien BC, ab, cd .... ik, ein wie breites Stück von jedem Prisma sichtbar ist, und nun kann man auf ein Papier in den Abständen BC, ab, cd u. s. w. Parallellinien ziehen, ein beliebiges Bild aufzeichnen, dasselbe nach Anleitung der Parallellinien in Streifen zerschneiden und diese Streifen der Reihe nach auf BC, ab, cd u. s. w. aufleimen. Ein Auge, welches sich in O befindet, wird dann ein zusammenhängendes Bild zu sehen glauben. Man leimt aber auf die andere Seite der Prismen auf gleiche Weise

ein anderes Bild, wodurch die Täuschung vermittelt wird, daß ein und dasselbe Gemälde, von verschiedenen Seiten aus betrachtet, scheinbar ganz andere Gegenstände sehen läßt.

§. 32.

Der Eindruck, welchen das Licht im Auge hervorbringt, dauert einige Zeit, ehe er wieder verschwindet und es erscheint dem gemäß eine im Kreise schnell herumgeschwungene Kohle wie ein feuriger Kreis. Parrot hat gefunden, daß die Dauer des Lichteindrucks 15 Tertien beträgt, wenn eine Kohle in einem dunkeln Zimmer geschwungen wird und 6,8 Fuß in einer Secunde durchläuft, aber nur 10 Tertien, wenn sie im hellen Zimmer geschwungen wird und 10 Fuß in einer Secunde durchläuft.

Hierauf gründet sich ein sinnreiches optisches Spielwerk, welches durch einen gewissen **Dr.** Paris erfunden seyn soll und Thaumatrop genannt worden. Unter den vielerlei Arten desselben ist folgende sehr gewöhnlich. Man schneidet aus Kartenpapier oder auch dünnem Elfenbein eine Scheibe von 1 bis 2½ Zoll Durchmesser (Taf. **XIV.** Fig. 2), zeichnet auf die eine Seite eine beliebige Figur, z. B. einen Vogelbauer, und auf die andere, wenn man dieselbe um eine mitten durch ihre Ebene gehende horizontale Axe gedreht hat, eine correspondirende, z. B. einen Vogel. In dieser Axe werden dann zwei an beiden Seiten etwas hervorstehende Fäden **A** und **B** befestigt und zwischen dem Daumen und Zeigefinger beider Hände schnell herumgedreht. Indem sonach der Eindruck der Zeichnung auf der einen Seite so lange fortdauert, bis auch das Bild der entgegengesetzten gesehen ist, so vereinigt die Vorstellung beide Bilder in eins und der Vogel scheint im Käfig zu sitzen. Das Umdrehen an beiden Fäden bewirkt übrigens ein

Schlottern und eine damit verbundene Unstetigkeit der Bilder. Um dieses zu vermeiden, schlägt Brewster vor, die Enden der Axe aus einem starren Körper zu verfertigen und außerdem muß die Axe, um welche die Scheiben gedreht werden, genau durch den Mittelpunkt derselben gehen. Sonach scheint es am besten, die Thaumatrope von Elfenbein zu verfertigen, oder von Blech mit aufgeklebtem Papiere, die zum Umdrehen bestimmten Enden der Axe aber in beiden Fällen aus der Masse der Scheiben bestehen zu lassen. Veränderungen der Zeichnungen lassen sich übrigens unzählige angeben, z. B. auf der einen Seite der untere Theil eines Hauses, auf der andern das Dach, oder der Stamm eines Baumes und die Krone, der Rumpf eines Menschen und der Kopf u. s. w.

§. 33.

Hier mögen noch die von Plateau und Stampfer erfundenen stroboscopischen Scheiben erwähnt werden, welches runde Pappscheiben sind, von etwa 6 bis 10 Zoll Durchmesser, in ihrem Centrum mit einer kurzen eisernen Axe versehen, welche durch das obere Ende eines unten mit einer Handhabe versehenen Stabes gesteckt, mit einer kleinen Rolle versehen und dann mit einem Schräubchen so befestigt wird, daß die vertikal gehaltene Scheibe mittels des Röllchens blos mit den Fingern schnell umgeschwungen werden kann. Die Scheibe ist gegen den Rand hin mit einer Anzahl vierkantiger Oeffnungen von etwa $\frac{3}{4}$ Zoll Höhe und $\frac{1}{2}$ Zoll Breite versehen, und auf der einen Seite mit den erforderlichen Figuren bemalt, deren Bilder man in einem Spiegel erblickt, wenn man die Scheibe diesem gegenüber hält und durch die Einschnitte sieht. Wird die Scheibe mittelst des Röllchens schnell um die Axe gedreht, so nehmen die im Spiegel gesehenen Bilder diese Be-

wegung gleichfalls an, die Eindrücke derselben auf das Auge werden aber durch die zwischen den Einschnitten befindlichen, diesen ungefähr gleich großen Zwischenräume unterbrochen, und obgleich jederzeit alle Bilder der Scheibe gesehen werden, so wird doch dasjenige vorzüglich beachtet, welches der zum Durchsehen dienenden Oeffnung am nächsten, also dem Auge gerade gegenüber ist. Indem aber bei angemessener Geschwindigkeit der Umdrehung der Lichteindruck dieses gesehenen Bildes so lange dauert, bis das folgende wieder erscheint, zugleich aber schwächer wird, bis das folgende deutlich hervortritt, so darf man nur den Bildern nach der Reihe eine veränderte Stellung geben, um die Täuschung zu erzeugen, als hätten die Figuren während dieser Zeit (nämlich während des Verschwindens des frühern und des allmählig entstehenden folgenden Eindrucks) ihre Stellung verändert, wonach diese also scheinbar eine diesen Stellungen entsprechende Bewegung annehmen.

Die Breite der Oeffnungen ist willkührlich, allein je größer sie ist, desto bleibender wird der Eindruck der gesehenen Stellung und desto schwerer die Täuschung ihres Uebergangs zu einer folgenden; je kleiner sie ist, desto undeutlicher wird der Eindruck und um so dunkler die Figur. Der Abstand der Abschnitte ist bei gleichmäßig fortlaufender Bewegung gleich, und die Abstände und die Geschwindigkeiten der Umläufe müssen in einem solchen Verhältnisse stehen, daß wenigstens fünf Bilder während einer Secunde vor dem Auge vorüberlaufen, wenn man die Dauer eines Lichteindrucks auf das Auge zu $\frac{1}{5}$ Secunde annimmt. Hat die Scheibe mehrere Reihen von Bildern, so wird man bei diesen allen die Bewegungen wahrnehmen, für deren periodische Wiederkehr jedoch erforderlich ist, daß das letzte Bild sich eben so an das erste anschließe, wie dieses an das

zweite. Mit der Geschwindigkeit des Umlaufs der Scheibe wird auch die Schnelligkeit der Bewegung ihrer Figuren vermehrt, doch darf erstere nicht so groß seyn, daß gar kein Lichteindruck von einem vorhandenen Bild auf das Auge entstehen kann.

Drittes Kapitel.

Von den Gesetzen der Spiegelung und den Erscheinungen bei Spiegeln.

§. 34.

Spiegel nennt man jede gerade oder krumme Fläche, welche hinlänglich geebnet, d. h. polirt ist, um das auffallende Licht so zurückzuwerfen, daß dadurch Bilder der Gegenstände im Auge erzeugt werden. Die Hauptbedingung des Spiegelns ist daher eine hinlängliche Glätte der Oberflächen, auf welche die Lichtstrahlen von den Objecten fallen, und in diesem Sinne nennt man die Ebene des Meeres, selbst wenn diese durch Wellen gefurcht keine Bilder der Gegenstände reflectirt, den **Meeresspiegel**. Sofern also die Glätte der Oberfläche das Spiegeln bedingt, könnte die physikalische Beschaffenheit der Körper selbst als gleichgültig erscheinen, sie ist es aber nicht ganz, indem vielmehr ihre Dichtigkeit und Undurchsichtigkeit einen bedeutenden Einfluß üben. Die Glätte setzt voraus, daß möglichst viele Punkte in die nämliche Ebene fallen und es können daher auch rauhe Körper eine Spiegelung, wenn auch nur eine unvollkommene erzeugen, sobald die genannte Bedingung bei ihnen eintritt, weswegen lange Lineale, Breter und selbst sehr lange Mauern eine Spiegelung bewirken,

wenn die Lichtstrahlen der Objecte in einem sehr kleinen Winkel mit ihnen auffallen und daher bei ihrer großen Ausdehnung eine hinlängliche Menge in der nämlichen Ebene hinter einander liegender Punkte treffen. Eben daher spiegeln auch eine Menge Körper einen geringen Theil des auf sie fallenden Lichtes, denen man jedoch deswegen den Namen der Spiegel nicht beilegt.

Alle flüssigen Körper bilden hinlänglich glatte Oberflächen, um einen Theil des auf sie fallenden Lichtes regelmäßig zurückzuwerfen und Bilder zu erzeugen, wie man diese Erfahrung an den Oberflächen stillstehender Gewässer tagtäglich machen kann. Selbst Nebel geben eine unvollkommene Spiegelung, wie man namentlich wahrnimmt, wenn man im Finstern bei dickem Nebel ein Licht in das geöffnete Fenster setzt oder hinaus hält, in welchem Falle man sein eignes Bild und das des Lichts reflectirt sieht. Auch glatte Oberflächen durchsichtiger fester Körper spiegeln, wie z. B. Glasscheiben, und zwar um so heller, je dunkler die Glasmasse ist und besonders brauchbare Spiegel geben die schwarzen Glasmassen. Am besten eignen sich aber Metalle und vorzugsweise die härtesten, wenn ihre Oberflächen polirt werden, zu Spiegeln, weil bei ihnen unter allen vollkommen undurchsichtigen Körpern die Politur am vollkommensten hergestellt werden kann. Der gefärbte Stahl gibt die besten Spiegel, hat aber den Fehler des leichten Rostens, und da die edlen Metalle, als Gold, Silber und Platina nicht die erforderliche Härte haben, so nimmt man zu den Spiegeln der optischen Instrumente eigene Metallmischungen, die später beschrieben werden.

Aber freilich sind Metallspiegel zu kostbar für den gewöhnlichen Gebrauch und verlieren nur zu bald ihre Politur, wenn sie auch im Zustande der Neuheit

ausnehmend schöne Bilder geben. Daher macht man aus ebenen Glasscheiben, deren Flächen parallel sind, die Glasspiegel, indem man auf die eine Seite ein von Quecksilber durchfressenes Zinnblatt mittels der Adhäsion befestigt. Hier ist die Oberfläche des Zinnblattes eigentlich der Spiegel und die Glasscheibe nur eine bequeme Fassung dafür. Solche Spiegel haben immer den Fehler der doppelten Bilder, indem die Oberfläche der Glasscheibe und die Zinnfläche zugleich spiegeln, wenn gleich erstere nicht so stark, als die letztere. Ueberstreicht man die eine Glasfläche mit schwarzer Oelfarbe, so verschwindet das zweite Bild, welches von der Firnißfläche reflectirt wird, fast gänzlich; schleift man aber die eine Glasfläche matt, so gibt sie gar keine Spiegelung mehr und es bleibt blos noch das Bild sichtbar, welches von der glatten Glasfläche zurückgestrahlt wird.

Aber auch der vollkommenste Spiegel wirft bei weitem nicht so viel Licht zurück, als er empfängt, indem ein Theil des Lichtes in die Masse des Spiegels hineindringt und verschluckt, ein anderer Theil aber unregelmäßig zerstreut wird, wie man sieht, wenn man in einem verfinsterten Zimmer einen Lichtstrahl auf einen Spiegel fallen läßt. Der Punkt, wo der Strahl auffällt, bleibt von allen Seiten her sichtbar, welches nicht seyn könnte, wenn der Spiegel alle Strahlen nur nach einer Richtung hin reflectirte. Man rechnet, daß Metallspiegel beinahe die Hälfte des auffallenden Lichtes verschlucken, wenn sie ganz vorzüglich polirt sind. Nach Rumfort verschlucken auch die besten Glasspiegel 0,3494, gemeine 0,4861 des auffallenden Lichtes.

§. 35.

Die Gesetze der Spiegelung sind sehr einfach und vollständig in folgenden Sätzen enthalten. Es sey

AE (Taf. XXX. Fig. 3) ein Lichtstrahl, der bei E auf eine Spiegelfläche MN fällt. Zieht man nun durch den Einfallspunkt E eine gerade Linie BE senkrecht auf die Spiegelfläche, so heißt BE das Einfallsloth, der Winkel AEB, den der einfallende Strahl mit dem Einfallslothe bildet, der Einfallswinkel und der Winkel BED, den der reflectirte Strahl mit eben dem Einfallslothe macht, der Reflexionswinkel. — Für diese Construction gilt nun Folgendes:

1) Der einfallende Strahl und der zurückgeworfene liegen mit dem Einfallsloth in derselben Ebene.

2) Der Einfallswinkel AEB ist immer dem Reflectionswinkel BED gleich.

Dieselben Gesetze gelten in der Mechanik, wenn ein elastischer Körper gegen einen harten stößt.

§. 36.

Der ebene Spiegel.

Der gewöhnliche Spiegel und der am meisten gebräuchliche ist der ebene, dessen spiegelnde Oberfläche ganz eben ist, wie z. B. die Oberfläche eines stillstehenden Wassers, welche einen ebenen Spiegel vorstellt.

Die Wirkung eines ebenen Spiegels ist, daß alle Objecte in ihm in ihrer natürlichen Größe abgespiegelt werden, und das Bild eben so weit hinter der Spiegelfläche liegt, als das Object vor derselben.

Es sey E (Taf. XIII. Fig. 4) ein strahlender Punkt und ein Lichtstrahl EA falle senkrecht auf die Spiegelfläche, so wird er in sich selbst zurückgeworfen, da er mit dem Einfallslothe gar keinen Winkel macht. Ein anderer Strahl EB falle schief auf den Spiegel MN. Man ziehe das Einfallsloth CB, mache CBD = EBC, so ist DB der zurückge-

worfene Strahl, welcher die Richtung hat, als käme er von dem Punkte X, wo die verlängerten Strahlen DB und EA hinter dem Spiegel sich schneiden. — Es ist nun, weil CB mit EX parallel ist, Winkel DBC = W. CBE = W. BEA, also haben die rechtwinkligen Dreiecke EAB und XAB gleiche Winkel, und da sie außerdem noch die Seite AB gemein haben, so sind sie congruent, d. h. EA = AX. Auf gleiche Weise werden alle von E kommenden Strahlen durch den Spiegel so reflectirt, daß sie aus dem Punkte X zu kommen scheinen und es muß daher ein Auge, welches die reflectirten Strahlen aufnimmt, in X ein Bild des Punktes E erblicken.

Wenn nun der Gegenstand EH mit dem Spiegel MN parallel ist, so fällt das Bild des Punktes H in das auf den Spiegel gefällte Perpendikel HF, in den Punkt y, welcher eben so weit vom Spiegel entfernt ist, als H, E oder X, und man begreift, daß Xy = EH seyn werde. — Jeder strahlende Punkt des Objects entwirft sein eignes Bild im Spiegel, und die Gesammtheit aller dieser Bilder bringt ein Bild des ganzen Objects hervor.

§. 37.

Ein ebener Spiegel, der aus einer mit Zinnfolie belegten Glasplatte besteht, macht, wie schon bemerkt, eigentlich zwei Bilder; denn einmal spiegelt die Fläche der Zinnfolie, welche den eigentlichen Spiegel ausmacht und das durch sie hervorgebrachte Bild ist das lebhafteste; daneben aber spiegelt auch noch die Vorderfläche des Glases und bewirkt ein zweites Bild, welches freilich dem erstern an Lebhaftigkeit weit nachsteht, da es nur durch die wenigen Strahlen entsteht, die das Glas nicht durch läßt, sondern gleich an der Vorderfläche wieder zurückwirft. — Der Abstand beider Bilder ist der doppelten

Dicke des Glases gleich. Denn es sey ba die Vorderfläche, BA die Hinterfläche (Taf. XIII. Fig. 5), so wird der Punkt C in der durch den Spiegel senkrecht gehenden Linie CL von der Vorderfläche in i, von der Hinterfläche in I abgespiegelt. Es ist dann $ai = aC$, $AI = AC$, folglich $iI = aI - ai = (AI + aA) - ai = (CA + aA) - Ca = (CA + aA) - (CA - aA) = 2Aa$.

Steht man nicht sehr zur Seite des Perpendikels CA, welches vom Object auf den Spiegel fällt, so scheinen sich beide Bilder zu decken und sie werden demnach als ein einziges gesehen; wenn man sich aber von jenem Perpendikel entfernt, so kommen beide Bilder zum Vorschein und rücken um so weiter von einander, je schiefer man gegen den Spiegel steht, wenn sich z. B. das Auge in O befindet.

Außer diesen zwei Bildern sieht man gewöhnlich noch mehrere, welche aus folgender Ursache entstehen. Wenn die Strahlen, welche von der Hinterfläche des Spiegels kommen, wieder an die Vorderfläche gelangen, so gehen sie nicht alle durch, sondern werden theilweise wieder auf die Hinterfläche zurückgewiesen, von dieser aber wieder reflectirt, so daß ein neues Bild in k erzeugt wird. Auch von diesem Theile der Strahlen werden wiederum einige von der Vorderfläche auf die Hinterfläche reflectirt und es entsteht ein viertes Bild in L. So sieht man von einer in C stehenden Flamme, wenn sich das Auge in O befindet, eine Reihe Bilder i, I, k, L, worunter das zweite das lebhafteste ist. Die folgenden werden der Reihe nach immer schwächer, bis sie sich endlich ganz verlieren.

§. 38.

Mittels der Planspiegel lassen sich mancherlei artige und unterhaltende Vorrichtungen zu Stande

bringen, deren Wirkung dem Unwissenden oft ans Wunderbare zu grenzen scheint. Wir bemerken hier zunächst nur Folgendes:

1) Man sieht nach §. 36 im ebenen Spiegel die Dinge gerade so, als wenn man sie unmittelbar betrachtete, nur mit der scheinbaren Verwechselung der rechten und linken Seite.

2) Neigt man einen ebenen Spiegel gegen eine Horizontalebene unter einem Winkel von 45°, so scheint das, was auf diesem horizontalen Boden liegt, im Spiegel aufrecht zu stehen.

Es sey der Spiegel MN (Tafel XIII. Fig. 6) gegen die Horizontalebene unter 45° geneigt. Das Bild des Punktes A erhält man, wenn man das Perpendikel AP fällt, Pa = AP macht; in M aber fallen Bild und Object zusammen, daher ist Ma das Bild der Linie MA. Die rechtwinkligen Dreiecke MPA und MPa sind congruent und folglich Winkel aMP = AMP = 45°, folglich aMA = 90°, d. h. es steht Ma aufrecht, während Ma liegt.

Gleichermaaßen scheinen in solchen Spiegeln stehende Dinge zu liegen, fallende horizontal zu laufen u. s. w.

3) Liegt ein Spiegel wagerecht, so scheinen aufrechtstehende Gegenstände zu hängen, hängende aufrecht zu stehen. — In einem an der Decke wagerecht angebrachten Spiegel scheinen die auf dem Boden befindlichen Gegenstände über der Decke in verkehrter Stellung zu schweben, folglich scheint hier eine fallende Kugel zu steigen u. dgl.

4) Um sich selbst ganz in einem Spiegel zu übersehen, muß dieser wenigstens die halbe Höhe und Breite des Menschen haben. Es sey in A das Auge, in B der Fuß, CD ein Spiegel parallel mit AB. Das Bild ab ist gerade so groß, als ab, auch ab mit AB und CD parallel und daher, weil AC =

aC, also AC = ½ aA, auch CD = ½ ab = ½ AB. Es ist aber CD die kleinste Höhe, die der Spiegel haben muß, damit Strahlen von A und B zugleich nach dem Auge kommen können. Eben so verhält es sich mit der Breite (Taf. XIII. Fig. 7).

5) Mittels des ebenen Spiegels lassen sich auch senkrechte Höhen messen, die auf horizontalem Boden stehen und zu deren Fußpunkte man kommen kann. Es sey AB (Taf. VIII. Fig. 3) eine solche Höhe und MN ein ebener Spiegel, horizontal gelegt. Man trete so weit vom Spiegel zurück, bis man in ihm die Spitze B bei b sieht. Steht dann das Auge in O, so sind wegen der Gleichheit der Winkel FbO und AbB die rechtwinkligen Dreiecke FbO, AbB ähnlich und es verhält sich die Entfernung bF des Fußes von dem Punkte b im Spiegel, wo man B sieht, zur Augenhöhe FO, wie die Entfernung bA zur Höhe AB. Die drei ersten Linien dieser Proportion kann man aber messen und folglich auch die vierte, nämlich die Höhe AB durch Regel-de-tri finden.

6) Wenn PS eine gegen den Horizont unter einem Winkel m geneigte Ebene ist (Taf. XIV. Fig. 1), so kann man einen Spiegel CD so stellen, daß eine auf der schiefen Fläche herabrollende Kugel im Spiegel senkrecht in die Höhe zu steigen scheint. Die Richtung des Spiegels CD muß dann den Winkel PSN, den die schiefe Fläche mit der Vertikalebene ON macht, halbiren, weil dann z. B. das Bild b von B eben so weit vom Spiegel absteht, als B selbst. Ist nun der Neigungswinkel der schiefen Ebene gegen den Horizont = m, so ist PSN = SOP + m = 90 + m, also PSM = 45° + ½ m. Ist z. B. m = 30°, so ist PSM = 45° + 15° = 60°, d. h. der Spiegel muß mit der Scheitellinie einen Winkel von 60°, also mit der Horizontale einen Winkel von 30° machen.

Ist nun die Kugel in A, B u. s. w., so erscheint sie im Spiegel in a, b u. s. w. und scheint also zu steigen. Kann man nun dem Auge die Fläche mit der Kugel und den Spiegel selbst (von dem nur ein Stück, wie CD, da seyn darf) geschickt verbergen, so daß der Zuschauer ins Freie zu sehen glaubt, so lassen sich die Täuschungen dieser Art sehr weit treiben.

§. 39.

Der Heliostat.

Hierunter versteht man ein Instrument, vermittelst dessen man einen Sonnenstrahl unverändert nach einem und demselben Punkte hinwerfen kann, damit die Unannehmlichkeit vermieden werde, die daher entsteht, daß ein ins verfinsterte Zimmer dringender Sonnenstrahl beständig seine Richtung ändert. Man sieht schon, daß ein Spiegel ein Hauptbestandtheil dieses Instruments seyn muß, aber wenn man den angegebenen Zweck erfüllen soll, so muß entweder durch Schrauben fortwährend seine Stellung so geändert werden können, wie es der jedesmalige Stand der Sonne erfordert, oder es muß ein Räderwerk angebracht seyn, welches eben diese Bewegung von selbst hervorbringt. Die letztere Einrichtung ist natürlich die bequemste, vertheuert aber auch das Instrument gar sehr.

Brandes gibt nach s'Gravesande und Biot (Gehler's physikal. Wörterb., neue Ausg.) folgende Beschreibung des Heliostaten mit einem Uhrwerk:

Der Spiegel, der, um die doppelten Bilder der Glasspiegel zu vermeiden, ein Metallspiegel seyn muß, steht auf einem eignen Fuße P (Taf. XIV. Fig. 3) und erhält eine Drehung um zwei auf einander senk-

rechte Axen, damit er jede Stellung anzunehmen geeignet sey. Eine dieser Axen, die vertikale nämlich, **PC**, ist in dem hohlen Cylinder, der sich auf dem Fußgestelle befestigt, senkrecht erhebt, frei beweglich eingeschlossen; sie trägt bei C einen Bügel, in welchem die Schrauben a, a befestigt sind, welche eine in der Ebene des Spiegels MM liegende horizontale Axe darbieten, um welche der Spiegel gleichfalls frei beweglich ist. Dieser Spiegel ist fest verbunden mit einer Richtungsstange cQ, welche am Spiegel senkrecht gegen die Ebene des Spiegels befestigt ist und die durch das Uhrwerk in die gehörige Bewegung gesetzt wird. Sie ruht gegen ihr Ende hin auf einer Gabel FF, deren cylindrischer Ansatz qq sich in der cylindrischen Höhlung der gleich zu erwähnenden Leitstange frei drehen kann. Die Figur zeigt schon, daß, während so die ganze Gabel eine Drehung um die Axe qq erhalten kann, für die Richtungsstange noch eine zweite Drehung um die Axe bb stattfindet und daß diese auf die Richtungsstange senkrechte Axe bb stets in einer auf qq senkrechten Ebene liegt. Aber diese Axe bb ist nicht mit der Richtungsstange selbst fest verbunden, sondern sie ist mit einer cylindrisch gebohrten Röhre tt so verbunden, daß sie gegen die Axe dieses Cylinders senkrecht befestigt ist; in diese cylindrische Höhlung paßt genau die cylindrische Richtungsstange cQ, und während diese darin verschoben und auf einen willkührlichen Punkt gestellt werden kann, erhält sie zugleich die beiden auf einander senkrechten Bewegungen, welche vermöge der Drehung um beide Axen qq und bb möglich sind.

Hierdurch ist die Zusammenfügung der Theile, welche mit dem Spiegel verbunden sind, vollkommen klar, und es erhellt auch, daß durch die Bewegung der Leitstange **RD**, in deren Höhlung die Axe qq ihren Drehpunkt findet, die Richtungsstange des

Spiegels und dieser selbst in alle möglichen Lagen gebracht werden kann; die Gesetze der Bewegung selbst erfordern aber eine etwas sorgfältigere Ueberlegung. Der Zweck des ganzen Instruments ist, daß der reflectirte Sonnenstrahl, den wir immer als aus der Mitte des Spiegels hervorkommend ansehen werden, eine völlig unveränderte Lage behalte, während die Sonne ihren Parallelkreis *) am Himmel durchläuft. Der Spiegel muß also so um diesen feststehenden reflectirten Strahl gedreht werden, daß die auf dem Spiegel senkrechte Linie oder die jenseits des Spiegels verlängerte Richtungsstange den zwischen jenem feststehenden Strahle und dem Sonnenstrahle eingeschlossenen Winkel halbire (§. 35).

Es läßt sich nun leicht zeigen, erstlich, daß die Leitstange **DR** ihre Bewegung in der Ebene des Aequators vollenden muß; zweitens, daß sie stets in der Richtung stehen muß, welche der Schatten eines in ihrem Drehungsmittelpunkte senkrecht gegen die Ebene des Aequators errichteten Stiftes **DE** angibt.

Um dieses zu zeigen, ist zuerst zu bemerken, daß der Punkt des Röhrchens **tt**, welcher in der Axe **bb** der Gabel liegt, allemal gleich entfernt von der Ebene bleibt, in welcher die Leitstange sich bewegt und stets senkrecht über dem Endpunkte der Leitstange; durchläuft also der Endpunkt der Leitstange einen Kreis mit der Ebene des Aequators parallel, so durchläuft jener Punkt der Axe **bb** einen eben solchen Kreis; — wir wollen diesen Punkt die Mitte der Gabel nennen. Es stelle **C′** (Taf. **XIV**. Fig. 4) den Mittelpunkt vor, um welchen diese Mitte der Gabel sich mit dem Aequator parallel bewegt, und **C′P** sey ein

*) Ein mit dem Aequator am Himmel parallel gezogener Kreis. Die Sonne scheint alle Tage einen solchen Kreis zu durchlaufen.

gegen diese Ebene senkrechter Stift, gerade so hoch, daß seines Endpunkts Schatten auf K fällt; dieser Schatten durchläuft, während des Tages einen um C' gezogenen Kreis, weil die Declination (Entfernung vom Aequator) der Sonne sich nicht merklich ändert, und man kann also die Leitstange so fortdrehen, daß der Endpunkt jenes Schattens immerfort auf die Mitte der Gabel fällt, indem nämlich dieses geschieht, wenn die Leitstange stets genau so fortrückt, wie der Schatten des Stifts. Wenn nun c der Mittelpunkt des Spiegels MM ist, so stellt cK die Richtungsstange vor, welche allezeit in der Mitte der Gabel bei K festgehalten wird, wenn sie gleich nicht immer mit demselben Punkt in der Gabel ruhend bleibt. Hat man nun die Stellung des Spiegels so gewählt, daß cP = PK ist, oder der Abstand der Mitte des Spiegels von der Mitte des Stifts eben so groß, als der Abstand dieser Spitze von der Mitte der Gabel, dieser aber der gerade jetzt stattfindenden Länge des Schattens gemäß ist, so liegt der zurückgeworfene Strahl in der verlängerten Pc, wenn PK der Sonnenstrahl ist. Denn im gleichschenklichen Dreieck ist PcK = PKc, und da die Richtungsstange cK mit dem Einfallslothe für den auf den Spiegel fallen Sonnenstrahl zusammentrifft, so bleibt der zurückgeworfene Sonnenstrahl immer in der verlängerten Pc, so lange der Mittelpunkt der Scheibe, um welche die Leitstange sich dreht, gegen den Mittelpunkt des Spiegels seine Lage unverändert behält. Die Richtungsstange muß dann freilich in der Röhre tt (Figur 3) so lange hin- und hergeschoben werden, oder vielmehr sich beim Fortschieben der Leitstange selbst fortschieben, wie es die veränderliche Größe der Winkel in dem Dreiecke cPK (Fig. 4) erfordert.

Diese Darstellung genügt, um zu beweisen, daß man, nachdem die Stellung einmal so gefunden ist,

nur nöthig hat, mit der Leitstange der Bewegung des Schattens, den C'P wirft, zu folgen, oder die Leitstange gleichförmig um den unter C' liegenden Mittelpunkt zu drehen, um den Sonnenstrahl immer in die feste Stellung zurückzuwerfen, die mit der verlängerte PC' zusammenfällt; es kommt also nur noch darauf an, zu finden, wie man den Heliostaten leicht in die erforderliche Stellung bringt, indem das Uhrwerk die gehörige Fortführung der Stange dann leicht besorgt. Hierbei erhellt zuerst von selbst, daß das Uhrwerk so aufgestellt seyn muß, daß die Scheibe, auf welcher die Leitstange DR fortgeführt wird (Figur 3), der Ebene des Aequators so genau als möglich parallel sey, und daß die Uhrscheibe, die zugleich eine Sonnenuhr ist, wenn in D ein auf dem Aequator senkrechter Stift DE angebracht worden, richtig orientirt sey. Damit nun der in D errichtete Stift den Schatten seiner Spitze genau auf die Mitte der Gabel oder auf den festgehaltenen Punkt der Richtungsstange werfe, müßte die Höhe des Stiftes = $A + R \cdot \tang d$ seyn, wenn A die senkrechte Höhe der Mitte der Gabel über der Leitstange, R die Länge der Leitstange und d die Declination der Sonne bedeutet. Aber es muß auch die Mitte des Spiegels von der Spitze des so angeordneten Stiftes um $R \sec d$ entfernt seyn, indem (Fig. 4) $C'P = PK = R \sec d$ ist, wenn $C'K = R$ und $QKC' = d$ ist. Hiernach muß also die Stellung des Spiegels gewählt werden, wozu s'Gravesante sich eines eigenen Hilfsinstruments bediente, welches er Positor, die Stellregel, nannte. Diese wird auf den Fuß des Spiegels aufgesetzt und ist so abgemessen, daß der Punkt X (Taf. XIV. Fig. 5) genau mit dem Punkt übereinstimmt, welcher bei Aufstellung des Spiegels den Durchschnittspunkt der Richtungsstange mit der Oberfläche des Spiegels einnimmt. Um diesen Punkt

X aber ist das Lineal YZ, dessen eine Hälfte sich durch Verschiebung eines in der Nuth gehenden Theils verlängern oder verkürzen läßt, in vertikaler Richtung um die horizontale Axe X beweglich. Indem man nun dem Arme XZ die eben berechnete Länge R secd gibt und den Fuß der Stellregel so verrückt, daß theils die Entfernung von X bis zur Spitze des Stifts die verlangte, durch die Länge des Arms XZ angegebene sey, theils die Lage dieses Arms eine solche, wie man den reflectirten Strahl zu erhalten wünscht, so ist alles vorbereitet, um den Spiegel an den Ort der Stellregel zu bringen. Da indeß das Verschieben des Spiegelfußes oder auch der Uhr einige Unbequemlichkeit mit sich führt, so hat Charles noch eine Verbesserung angebracht, die diese Verschiebung erleichtert und alles unsichere Probiren unnöthig macht.

Auf dem Fußgestelle des Uhrwerks ist eine Linie FF (Fig. 3) gezogen, die ein= für allemal in den Meridian *) gebracht wird. Da man der Ebene, in welcher die Leitstange DR sich bewegt, mit Hilfe eines angebrachten Gradbogens die richtige, der Aequatorhöhe (Bogen des Meridiankreises zwischen dem südlichen Horizont und dem Aequator) angemessene Neigung geben kann, so ist dann die Bewegung der Leitstange völlig berichtigt und der Fuß des Spiegels muß jedesmal auf die richtige Stellung gebracht werden. Damit dieses geschehe, ist erstlich in der Fußplatte, auf welcher der Fuß des Uhrwerks ruht, eine durch die Schraube f nach der Richtung des Meridians verschiebbare Schiene eingelassen, die man jedesmal so stellt, daß ihr Endpunkt sich genau senkrecht unter der Spitze des Stifts E befindet, der so hoch, als die Declination der Sonne es gerade an dem Tage

*) Die durch die beiden Weltpole und den Scheitelpunkt eines Beobachters gelegte Ebene.

der Beobachtung fordert, über der Ebene der Aequatorealscheibe hervorragt; diese Stellung läßt sich berechnen, da sie aus der für die gegebene Declination berechneten Höhe des Stifts, wenn man die Projection derselben auf die horizontale Ebene sucht, unmittelbar folgt. In dem Endpunkte dieser Schiene befindet sich zweitens der Drehungspunkt eines andern auf dem horizontalen Boden aufliegenden Stücks G, in welches der Fuß des Spiegels eingelassen ist. Man kann diesen Fuß in einer Nuth, die auf jenem Stück eingeschnitten ist, vermittels einer Schraube hin und her bewegen, und wenn man die Neigung gegen den Horizont, die man dem reflectirten Strahle zu geben gedenkt, bestimmt hat, die Entfernung dieses Fußes so groß nehmen, wie es die horizontale Projection der von der Spitze des Stifts zur Mitte des Spiegels gezogenen Linie fordert. Bei der Drehung dieses den Spiegelfuß tragenden Stücks um die Projection der Spitze E des Stifts DE auf den Boden bleibt die horizontale Projection jener zwischen der Mitte des Spiegels und der Spitze des Stifts gezogenen Linie stets gleich lang, und wenn man vermittelst der Stellregel die Höhe aufsucht, die der Mitte des Spiegels zukommt, so kann man dem zurückgeworfenen Strahl jede willkührliche Richtung anweisen. Hat man diese Richtung einmal für die zu unternehmende Beobachtung gewählt, so wird der Spiegelfuß festgeschraubt und die Richtungsstange in die Gabel, diese aber in die Leitstange eingelegt und auf die der Zeit angemessene Theilung der im Aequator liegenden Scheibe gebracht, wo dann das die Leitstange in 24 Stunden herumtreibende Uhrwerk das übrige besorgt.

§. 40.

Da der Heliostat ein theures Instrument ist und überdies nicht überall ein Platz zu seiner Aufstellung

sich so bequem findet, daß man ihn immer an seinem Platze lassen könnte, so bedient man sich gewöhnlich einer viel einfachern Vorrichtung, um den Sonnenstrahl durch Zurückwerfung in eine zu Beobachtungen passende Lage zu bringen. Man richtet den Spiegel, durch welchen man den Lichtstrahl in das dunkle Zimmer bringen will, so ein, daß er neben der Oeffnung, wo der Lichtstrahl hereindringen soll, aufgeschraubt werden kann und gibt ihm eine doppelte Bewegung vermittels Stellschrauben. Es wird nämlich an den Fensterladen, in welchem die Oeffnung zum Einlassen des Lichtstrahls befindlich ist, eine starke viereckige Messingplatte angeschraubt, in deren Mitte ein kreisförmiges Stück von etwa 3 Zoll im Durchmesser so ausgeschnitten ist, daß es sich leicht in dem übrigen Theile der Platte drehen läßt. Eine in die Randzähne der Scheibe eingreifende Schraube ohne Ende bewirkt diese Drehung so, daß jene ausgeschnittene Scheibe in ihrer Höhlung jede willkührliche Stelle annehmen kann. Dieses kreisförmige Stück hat in seiner Mitte die Oeffnung, die den Lichtstrahl einlassen soll und an dem Rande desselben ist mit einem Charniere ein Spiegel so befestigt, daß er sehr verschiedene Neigungen gegen die Messingplatte, also auch gegen den Fensterladen annehmen kann. Indem man nun diesen Spiegel an diejenige Seite der Kreisscheibe stellt, wo seine Mitte mit der Sonne und der Oeffnung in einer Ebene ist und wo dann von selbst schon diese Ebene gegen die Spiegelfläche senkrecht ist und mit Hilfe einer zweiten in ein gezahntes Rad eingreifenden Schraube die Neigung des Spiegels passend bestimmt, so erhält man einen durch die Oeffnung in das Zimmer geworfenen reflectirten Strahl und kann durch leise, aber oft wiederholte Fortrückung beider Schrauben den Sonnenstrahl in einer sehr nahe unverrückten Lage erhalten. Man hat dabei nur frei-

sich die Unbequemlichkeit, die zwei Schrauben selbst bewegen zu müssen, die bei dem vorigen Instrumente mittels eines Uhrwerks bewegt werden.

§. 41.

Von den Wirkungen mehrerer verbundenen ebenen Spiegel.

Wenn man die von einem ebenen Spiegel herkommenden Strahlen mit einem zweiten Spiegel auffängt, so ist es eben so gut, als kämen die Strahlen unmittelbar von einem Object und das Bild des ersten Spiegels wird daher im zweiten Spiegel ganz nach den Gesetzen für die einfache Spiegelung abgebildet; nur ist das zweite Bild nicht mehr so hell, als das erste, weil bei jeder neuen Spiegelung ein Theil des Lichts verloren geht. Wenn z. B. ein jeder Spiegel die Hälfte des auffallenden Lichts verschluckt, also nur die Hälfte zurück gibt, so wird man nach der zweiten Spiegelung nur noch $\frac{1}{4}$ des vom Object unmittelbar herkommenden Lichts haben, nach drei Spiegelungen den 8ten, nach vier Spiegelungen den 16ten Theil u. s. w., woraus erhellt, daß nach vielmaliger Spiegelung das Bild so dunkel werden kann, daß man es gar nicht mehr wahrnimmt.

Hieraus läßt sich leicht begreifen, wie man sich mittels zweier Spiegel von hinten sehen könne. Man darf nämlich nur hinter dem Rücken einen Spiegel anbringen und dessen Bild durch einen vorn vorgehaltenen Spiegel zum zweiten Male sich abspiegeln lassen. Ueberhaupt lassen sich mittels zweier oder mehrerer Spiegel gar sonderbare und sinnreiche Vorrichungen erdenken, deren Wirkungen ungemein überraschend sind. So kann man z. B. mittels vier Spiegel scheinbar durch undurchsichtige Körper, z. B. durch ein Bret hindurchsehen. In Fig. 6 (Taf. XIV.) ist in der Mitte einer Röhre ein Planspiegel m n so

angebracht, daß er unter einem Winkel von 45° gegen den Horizont geneigt ist und daher sein Bild nach unten hin auf den ebenfalls um 45° geneigten Spiegel **AB** wirft. Dieser trägt sein Bild horizontal fort auf den um 45° geneigten Spiegel **CD**, dieser reflectirt wiederum das Licht aufwärts auf den Spiegel pq, der ebenfalls um 45° geneigt ist und das Bild horizontal fortstrahlt, so daß das Auge die Objecte eben so erblickt, als wenn es unmittelbar durch die Röhren bei m und p hindurch blickte und das Sehen wird begreiflich nicht gehemmt, wenn zwischen beide Röhren ein Bret **PP** gestellt wird. Nur erscheinen die Gegenstände etwas dunkel, weil sie viermal abgespiegelt werden.

Außer diesen Spielwerken macht man einen wichtigen Gebrauch von der Verbindung zweier Planspiegel bei winkelmessenden Instrumenten; doch würde uns die Beschreibung derselben hier zu weit führen.

§. 42.

Wenn zwei ebene Spiegel **CM** und **CN** bei **C** zusammenstoßen und einen Winkel **MCN** bilden, welcher ein aliquoter, z. B. der 6te, 8te u. s. w. Theil von vier rechten ist, so findet eine merkwürdige Vervielfältigung der Bilder statt, die ein Gegenstand a verursacht. Der Spiegel **CM** (Taf. XV. Fig. 1) nämlich entwirft sein Bild in a' und zwar in eben der Entfernung, in welcher a sich befindet und auf gleiche Weise spiegelt der Spiegel **CN** den Punkt a in a'' ab. Aber das Bild a'' wird von dem Spiegel **CM** zum zweitenmal abgebildet in a''', so daß pa''' = pa'', und das Bild a'' wird vom Spiegel **CN** von Neuem gespiegelt in a(5). Endlich bildet der Spiegel **CN** das Bild a''' in a(4) und das Bild a(5) gleichfalls in a(4) ab, so daß also bei der dritten Spiegelung die Bilder zusammenfallen und kein

neues mehr entstehen kann. Doch fallen nur dann die Bilder bei der dritten Spiegelung in einander, wenn der Neigungswinkel MCN beider Spiegel, wie hier angenommen, = 60 Grad, also den 6ten Theil der Peripherie ausmacht. — Für diesen Fall hat man also 5 Bilder und der Gegenstand a wird daher 6fach gesehen. Hätten die beiden Spiegel eine Neigung von 45° gegen einander, so würde man 7 Bilder erhalten und den Gegenstand 8fach erblicken.

§. 43.

Auf diese Eigenschaft der Vervielfältigung der Bilder durch Spiegel, die unter einem Winkel gegen einander geneigt sind, gründet sich das von Brewster erfundene Kaleidoscop, welches aus zwei Spiegeln besteht, die unter einem Winkel, der $\frac{1}{6}$, $\frac{1}{8}$, $\frac{1}{10}$ u. s. w., überhaupt einen geraden aliquoten Theil der Peripherie beträgt, mit einander fest verbunden und in eine Röhre eingeschlossen sind. Die Spiegel haben die Form von langen, aber schmalen rechtwinkligen Parallelogrammen. Oben ist die Röhre mit einem undurchsichtigen Deckel verschlossen, der nur in der Mitte eine kleine zum Hineinsehen bestimmte Oeffnung hat, unten aber mit zwei Plangläsern, die senkrecht auf die Axe der Röhre gestellt sind und einen Raum zwischen sich leer lassen, welcher allerlei, am besten durchsichtige Körper, z. B. bunte Glasperlen und andere kleine bunte Glasfiguren einschließt. Die Spiegel reichen bis auf das innere Glas hinab. Sieht man nun durch die Augenöffnung, die gleichfalls mit einem hellpolirten Planglase bedeckt werden kann, damit kein Staub auf die Spiegel fällt, in die Röhre hinein, so erblickt man die Gegenstände im Boden durch die Spiegel vervielfältigt, wodurch regelmäßige sternartige und vieleckige Figuren von seltsamster Gestalt und unbeschreiblicher

Schönheit mit dem angenehmsten Farbenspiel entstehen, auf welchen das Auge so gern verweilt und diese Figuren lassen sich durch Umdrehung der Röhre, wodurch die beweglichen Gegenstände im Glasboden eine andere Lage annehmen, auf unzählige Weise verändern.

Man schleift das nach außen befindliche Glas des Glasbodens ein wenig matt, damit man keine außerhalb der Röhre befindlichen Gegenstände erblicken kann und die Vorstellung dadurch gestört werde. Auch hat man es für das beste gefunden, statt der belegten Spiegelgläser nur unbelegte, aber auf der Rückseite mit schwarzer Oelfarbe angestrichene zu wählen, wodurch man zwar mattere, aber, weil die doppelten Bilder weggefallen sind, auch schönere und reinere Vorstellungen erhält. Nur muß man dann auch den Neigungswinkel der Spiegel nicht zu klein, namentlich nicht kleiner als $\frac{1}{6}$ oder $\frac{1}{8}$ der Peripherie nehmen, damit nicht zu viele Spiegelungen stattfinden und die letzten Bilder etwa zu undeutlich ausfallen.

Brewster hat auch das Kaleidoscop so vorgerichtet, daß man lebende Gegenstände oder Blumen darin sehen kann. Er macht nämlich die Röhre noch um ein ziemliches Stück länger, als die Spiegel und setzt in deren Ende eine convexe Glaslinse ein, die ihr umgekehrtes Bild nicht allzu naher Gegenstände in ihrem Brennpunkte gerade dahin wirft, wo sonst die Glasfiguren sich befinden. Auf diese Weise kann man sehr schöne Vorstellungen erhalten.

Man kann auch Kaleidoscope mit mehr als zwei Spiegeln vorrichten, z. B. mit vier Spiegeln, die in Form eines Parallelepipedums zusammengesetzt sind. Da sie aber ein jeder ohne vorhergegangenen Unterricht wird herrichten können, so unterlassen wir die nähere Beschreibung.

§. 44.

Wenn man zwei ebene Spiegel **A** und **B** einander parallell gegenüber stellt, so findet eigentlich eine Vervielfältigung bis ins Unendliche statt. Der Spiegel **A** wirft nämlich sein Bild dem Spiegel **B** zu, worin es zum zweitenmal abgebildet wird, aber dieses zweite Bild wird wieder auf den Spiegel **A** zurückgeworfen und in ihm zum drittenmal abgebildet, sodann von dem Spiegel **B** zum viertenmal u. s. w., so daß in jedem Spiegel eine unendliche Reihe von Bildern entsteht, die in gerader Linie hinter einander liegen. Man kann diesen Versuch leicht anstellen, wenn man zwischen zwei nach der angegebenen Weise aufgestellte Spiegel ein Licht stellt. — Die Bilder, deren Anzahl eigentlich unendlich seyn sollte, werden aber nach und nach wegen des vielen Lichtverlustes bei den wiederholten Spiegelungen so schwach, daß man sie gar nicht mehr erkennt.

Hierauf gründet sich der Bau der sogenannten Spiegelkasten und Spiegelzimmer. Erstere sind kleine Kasten, an deren innern Wänden zwei Spiegel parallel aufgestellt sind; oben sind sie mit einem Gazetuche bedeckt, damit gehöriges Licht eindringen kann, ohne jedoch einen deutlichen Blick in das Innere zu gewähren. Blickt man in einen solchen Kasten neben dem Rande eines Spiegels hinein, so sieht man den Boden ins Erstaunliche vervielfacht, und wenn auf ihm allerlei Figuren angebracht sind, denen man durch Drähte und Schnüre Bewegung geben kann, so wird die Erscheinung anziehend. Wenn man beide Spiegel unter einem kleinen Winkel gegen einander neigt (so daß sie sich zwar nicht berühren, aber auch nicht parallel mit einander stehen), so erblickt man eine große Menge solcher Trapezien, dergleichen die Spiegel einschließen, die alle in einem Kreise liegen und

sich endlich vereinigen. Noch größere Vervielfältigung der Bilder erhält man, wenn man alle vier Wände des Kastens oder überhaupt die Wände eines senkrechten regelmäßigen Prisma mit gerader Seitenzahl mit Spiegeln besetzt und eine Oeffnung läßt, um hinein zu sehen. Statt dieser Oeffnung kann auch eine Stelle dienen, wo die Folie vom Spiegel abgekratzt ist. Auch drei Spiegel von gleicher Größe geben einen guten Spiegelkasten, welcher oft in Form des Kaleidoscops ausgeführt wird. — Man kann auch einen Kasten in Form eines vieleckigen senkrechten Prisma machen und denselben durch Diagonalwände, die sich alle im Mittelpunkte durchschneiden, in Dreiecke theilen. Jede Diagonalwand wird auf beiden Seiten mit Spiegeln besetzt und der obere Theil des Kastens mit Gaze bedeckt. Sieht man nun in eines der Dreiecke hinein, so sieht man einen Raum, so groß wie der ganze Kasten, und jeder kann mit andern Figuren geziert werden.

Man hat auch die Idee des Spiegelkastens im Großen ausgeführt, indem die ganzen Wände eines Zimmers mit Spiegeln besetzt werden. Solche Zimmer, Spiegelzimmer, sind kostbar und daher auch selten; auch kann ihre Wirkung, wenn z. B. in ihnen ein Kronleuchter angebrannt wird, den Beobachter mehr verwirren, als ergötzen und der Eindruck sogar unangenehm werden.

Bei allen Spiegelkasten ist eine Hauptsache die, daß die Objecte, die vervielfältigt werden sollen, nicht zu groß sind, damit ihre Bilder einander nicht zum Theil verdecken und dadurch die Wirkung geschwächt wird.

§. 45.

Der convexe Spiegel (Kugelspiegel).

Wenn ein Spiegel MN (Taf. XV. Fig. 2) nach der erhabenen Oberfläche einer Kugel gekrümmt ist,

so heißt er convex. Seine Wirkung ist der der ebenen Spiegel in sofern gleich, als er auch die Gegenstände aufrecht darstellt, verschieden aber darin, daß er sie zugleich verkleinert und zwar um so mehr, je mehr seine Oberfläche gekrümmt ist. Auch scheint das Bild immer hinter der spiegelnden Fläche zu liegen.

Es sey A ein Punkt, welcher Strahlen auf den Kugelspiegel MN sendet und K der Mittelpunkt der Kugel, von der der Spiegel ein Theil ist. Zieht man KA, so steht diese Linie senkrecht auf der Spiegelfläche und ein Strahl also, der in dieser Richtung auf den Spiegel fällt, wird in sich selbst zurückgeworfen. Ist nun AE ein anderer Strahl, so muß man, um seinen Weg nach der Reflection zu finden, das Einfallsloth KE ziehen (denn die Halbmesser stehen auf der Kugelfläche senkrecht) und den Abprallungswinkel CED dem Einfallswinkel AEC gleich machen. Der reflectirte Strahl ED nimmt also einen solchen Gang, daß er von einem Punkte F zu kommen scheint, welcher zwischen dem Spiegel und seinem Mittelpunkte K liegt, und auf gleiche Weise scheinen alle von A ausgehenden Strahlen, wie AE' nach der Reflexion von dem Punkte F zu kommen, daher in F ein Bild des Punktes A gesehen wird. Zieht man BK, so bestimmt sich auf gleiche Weise das Bild des Punktes B in b und es wird begreiflich, warum ein Kugelspiegel ein aufrechtes Bild macht. Dieses Bild Fb ist aber in dem Maase kleiner als sein Gegenstand AB, als KF kleiner als KA ist und daraus wird zugleich auch klar, warum das Bild verkleinert erscheint.

Das Bild des Kugelspiegels ist also nicht wirklich, sondern nur ein Scheinbild, weil die reflectirten Strahlen einen solchen Weg nehmen, daß sie von einem Bilde herzukommen *scheinen*. — Es lassen sich mancherlei interessante Fragen in Bezug auf den

Kugelspiegel aufwerfen, allein sie haben für die praktische Optik keinen weitern Einfluß, da dergleichen Spiegel bei optischen Instrumenten fast gar nicht gebraucht werden.

Man gebraucht den Kugelspiegel zum Abzeichnen von Landschaften, indem sich die Lage der einzelnen Theile und ihr Größenverhältniß an dem verkleinerten Bilde leichter abnehmen läßt, als bei unmittelbarer Betrachtung. Man muß aber hierzu einen Spiegel nehmen, dessen Krümmung nicht zu stark ist, weil sonst die Bilder zu klein ausfallen und am Rande zu sehr verzerrt erscheinen. Gewöhnlich bedient man sich zu diesem Zweck eines Planconvexglases, dessen ebene Seite man mit schwarzer Oelfarbe anstreicht, damit blos die vordere convexe Fläche spiegele. Dergleichen Spiegel findet man unter dem sonderbaren Namen Erdspiegel nicht selten.

Auch pflegt man Glaskugeln mit einem Amalgama aus Zinn, Wismuth und Quecksilber auszugießen, wozu Wolf folgende Vorschrift gibt. Man schmelze 1 Theil Zinn und 1 Theil Wismuth mit einander und sobald die Masse flüssig geworden ist, gieße man 2 Theile Quecksilber dazu; durchrühre es mit einem eisernen Draht geschwinde und wenn die Materie zu rauchen anfängt, gieße man sie in eine Schüssel mit kaltem Wasser. Hierauf drücke man sie durch ein Handschuhleder oder doppeltes leinenes Tuch und was durchgeht, schütte man in eine (vorher auf Kohlen erwärmte) Glaskugel, wende dieselbe sanft um, bis sich das Amalgam allenthalben angehängt hat und schütte das übrige heraus. Man muß hierbei darauf sehen, daß das Glas inwendig ganz rein sey und die Materie beim Eingießen nicht umhersprütze. Uebrigens gelingt dieser Versuch wegen des auf der Oberfläche des Amalgams befindlichen Schmuzes, welcher nichts anderes ist, als Quecksilberoxyd, nur selten gut,

sondern der Spiegel bekommt in der Regel viele matte Flecken.

Auf gleiche Weise können auch aus hierzu tauglichen Gläsern die Cylinder- und Kegelspiegel verfertigt werden, von denen am Ende dieses Kapitels die Rede ist.

§. 46.

Von den concaven oder Hohlspiegeln.

Wenn die spiegelnde Oberfläche eines Spiegels die hohle Krümmung einer Kugel hat, so heißt der Spiegel ein concaver oder hohler, wie in Figur 3a (Taf. XV.). Die Erscheinungen bei Hohlspiegeln sind ungleich mannichfaltiger, als beim convexen Kugelspiegel und erfordern daher eine genaue Erörterung. — Vor allem aber bemerken wir, daß dem Hohlspiegel immer eine kreisförmige Begrenzung gegeben wird, und wenn man dann durch die Mitte des Spiegels und den Mittelpunkt der Kugel, nach welcher er gekrümmt ist, eine gerade Linie zieht, so nennt man diese Linie die Axe des Spiegels. Sodann ist beim Hohlspiegel vorzüglich der Punkt F der Axe merkwürdig, welcher um den halben Halbmesser, $\frac{1}{2}$ AK vom Spiegel entfernt ist und den man wegen seiner bald zu beschreibenden Eigenschaft Brennpunkt nennt.

Wenn nun ein Object XY (Taf. XV. Fig. 3a) zwischen dem Spiegel und dem Brennpunkte F liegt, so erscheint es im Spiegel aufrecht stehend und vergrößert. Es sey nämlich X ein Punkt der Axe, so wird der Strahl XA in sich selbst zurückgeworfen, aber der Strahl Xa hat nach der Reflexion die Richtung aa', welche sich ergibt, indem man das Einfallsloth Ka zieht und den Winkel Kaa' dem Winkel KaX gleich macht.

Der reflectirte Strahl aa' scheint also von dem Punkte x der Axe hinter dem Spiegel herzukommen, und da alle übrigen Strahlen, welche wie Xb nicht zu weit von der Axe sich entfernen, ebenfalls nach der Reflexion aus dem Punkte x zu kommen scheinen (wie bb'), so folgt, daß man in x ein Scheinbild des Punktes X erblicken muß. Auf gleiche Weise bestimmt sich auch das Bild des Punktes Y, indem man KY zieht und untersucht, wo Strahlen, die wie Yd außer der Richtung Yy liegen, die Ky hinter dem Spiegel schneiden, wenn man die reflectirte Richtung rückwärts verlängert. So ergibt sich denn ein aufrecht stehendes und in dem Maaße vergrößertes Bild, als KX in Kx enthalten ist. Man kann noch bemerken, daß das Bild xy um so weiter hinter dem Spiegel liegt, je näher das Object XY am Brennpunkte sich befindet. Aus dem Mittelpuncte K gesehen erscheinen Bild und Gegenstand unter demselben Winkel.

§. 47.

Wenn ein Gegenstand XY (Taf. XV. Fig. 4) weiter vom Spiegel weg ist, als der Mittelpunkt K, so entsteht vermittels der Reflexion durch den Hohlspiegel ein verkleinertes und verkehrtes Bild xy, welches zwischen dem Mittelpunkt und dem Brennpunkt in freier Luft schwebt und diesem um so näher ist, je weiter der Gegenstand vom Spiegel absteht. Es scheint zwar, wenn man diesen Versuch anstellt, als ob das Bild sehr nahe auf dem Spiegel liege, allein wenn man einen Gegenstand zwischen dasselbe und den Spiegel bringt, so überzeugt man sich bald vom Gegentheile.

Es sey nämlich XA die Axe und X ein in ihr befindlicher strahlender Punkt, der die Strahlen XA, Xa, Xb auf den Spiegel sendet. Von diesen wird

der erstere in sich selbst zurückgeworfen, weil er mit der Axe zusammenfällt, aber der Strahl Xa hat nach der Reflexion die Richtung ax, indem der Reflexionswinkel Kax dem Einfallswinkel KaX gleich seyn muß und vermöge dieser Richtung trifft er, so wie alle andern von x kommenden Strahlen mit der Axe in x noch vor dem Brennpunkte F zusammen, so daß hier ein Bild des Punktes X entsteht. Um nun auch das Bild des Punktes Y zu finden, ziehe man durch Y und den Mittelpunkt K den Strahl Yd, so wird dieser, da er senkrecht auf der Spiegelfläche steht, in sich selbst zurückgeworfen und das Bild von Y liegt auf Kd in y, welchen Punkt man am leichtesten findet, wenn man in x auf der Axe das Perpendikel xy errichtet. Sonach erscheint das Bild verkehrt und auch verkleinert, in sofern Kx kleiner ist, als KX. Von K aus gesehen erscheinen Bild und Gegenstand unter demselben Winkel und sie verhalten sich ihrer Größe nach, wie Kx und KX. Das Bild ist ein wirkliches.

§. 48.

Je weiter der Gegenstand XY (Fig. 4) vom Spiegel entfernt ist, desto näher fällt das Bild an den Brennpunkt, kann aber nie über ihn hinaus gehen. Wenn der Gegenstand unendlich weit entfernt ist, so fällt das Bild in den Brennpunkt selbst, und da in diesem Falle die von einem und demselben Punkte des Objects kommenden Strahlen als unter sich parallel angesehen werden können, so kann man auch sagen, Strahlen, die mit der Axe parallel sind, vereinige der Spiegel in seinem Brennpunkt. Umgekehrt auch müssen Strahlen nach der Reflexion mit der Axe parallel fortgehen, wenn der Gegenstand im Brennpunkte liegt und in diesem Falle entsteht also kein Bild.

Je näher nun der Gegenstand an das Glas rückt, desto weiter rückt auch das Bild vom Brennpunkt ab nach K hin, und wenn der Gegenstand in K sich befindet, so fällt sein Bild eben dahin, wie man aus einer Zeichnung, die richtig ausgeführt wird, leicht findet. Wenn aber endlich das Object näher an den Spiegel rückt, als K, so fällt sein Bild über K hinaus und erscheint vergrößert. Denn so wie der Gegenstand XY (Fig. 4) sein Bild zwischen K und F in x von der Größe xy entwirft, eben so wird umgekehrt ein Gegenstand xy sein Bild in X von der Größe XY erzeugen, weil im letztern Falle die Strahlen von x mittels des Spiegels eben so nach X gelangen, als sie von X nach x kommen.

Sonach kann man auch durch den Hohlspiegel umgekehrte Luftbilder in beliebiger Vergrößerung darstellen und hiervon überzeugt man sich leicht, wenn man einen Hohlspiegel von mäßiger Brennweite (Entfernung des Brennpunktes vom Spiegel), die etwa 2 bis 3 Zoll betragen kann, einem Lichte so nähert, daß dieses sich zwischen dem Brennpunkt und dem Kugelmittelpunkte befindet. Läßt man dann die Strahlen auf ein in gehörige Entfernung gehaltenes Papier fallen, so erblickt man das umgekehrte und vergrößerte Bild der Flamme.

Die Wirkung der Hohlspiegel ist übrigens ganz der Wirkung converer Glaslinsen analog und daher können die weiter unten gegebenen genauen Erörterungen über Glaslinsen auch zur Erklärung der Erscheinungen bei Hohlspiegeln dienen.

§. 49.

Man hat eine Formel, mittels welcher man aus dem Abstande des Objectes vom Spiegel und der Brennweite den Abstand des Bildes genau berechnen kann. Ist nämlich der Kugelhalbmesser des Spie-

gels $= r$, also die Brennweite $= \frac{1}{2} r = p$ und nennen wir den Abstand des Objects a, so ist der Abstand des Bildes =

$$\frac{a\,p}{a - p}.$$

Es sey z. B. $p = 3$ Zoll, $a = 3\frac{1}{2}$ Zoll, so ist der Abstand des Bildes $= \frac{3 \cdot 3\frac{1}{2}}{3\frac{1}{2} - 3} = 21$ Zoll.

Die Größe des Bildes ist $\frac{p}{a - p}$, wenn die des Objectes = 1 gesetzt wird, also ist im vorigen Beispiele das Bild $\frac{3}{3\frac{1}{2} - 3} = 6$ mal größer, als das Object. Nennt man d den Abstand des Bildes, so ist seine Größe auch $\frac{d}{a}$. Bei unendlich weit entfernten Gegenständen gibt man die Größe des Bildes mittels des Sehwinkels an und wenn dieser O ist, so ist die Größe des Bildes p . O, wo O in Theilen des Halbmessers ausgedrückt werden muß. So erscheint z. B. die Sonne unter einem Winkel von 32 Minuten, welcher in Theilen des Halbmessers ungefähr $\frac{1}{108}$ beträgt, daher die Größe des Sonnenbildes $= \frac{p}{108}$, nämlich dem 108ten Theile der Brennweite gleich. Diese Rechnungen sind gerade so, wie bei Sammelgläsern.

Wird in der Formel $\frac{a\,p}{a - p}$, $p > a$, d. h. liegt das Object dem Spiegel näher, als der Brennpunkt, so wird der Abstand des Bildes negativ und in diesem Falle gibt die Formel den Abstand des Punktes

hinter dem Spiegel, von welchem die Strahlen herzukommen scheinen (vergl. §. 46).

§. 50.

Abweichung wegen der Kugelgestalt. Parabolische und elliptische Hohlspiegel.

Wenn wir im Vorigen sagten, daß die Strahlen, welche wie YE (Taf. XV. Fig. 5) mit der Axe parallel auf den Hohlspiegel fallen, in dem Brennpunkte F desselben sich sammeln, so gilt dieses streng genommen nur für diejenigen Strahlen, welche der Axe sehr nahe liegen; entferntere aber, wie YE kommen schon vor dem Brennpunkt etwa in f mit der Axe zusammen und die daher entstehende Abweichung Ff heißt die Abweichung wegen der Kugelgestalt. Sie ist bei Parallelstrahlen, wenn die Entfernung EB des Einfallspunktes E = x gesetzt und die Brennweite mit p bezeichnet wird,

$$Ff = \frac{xx}{8p},$$

also dem Quadrate der Einfallshöhe x proportional. Ist z. B. $x = \frac{1}{2}$ Zoll und $p = 10$ Zoll, so findet man $Ff = 0.003$ Zoll, welches nur gering ist. Wäre aber $x = 2$ Zoll, so wäre Ff schon $\frac{1}{20}$ Zoll.

Hieraus folgt, daß, besonders bei solchen Spiegeln, die man zu optischen Werkzeugen, als Fernröhren, benutzt, die Oeffnung (Breite des Spiegels) nicht zu groß genommen werden darf, wie in der Lehre von den Fernröhren näher erörtert wird. Um aber sich doch nicht auf eine kleine Oeffnung beschränken zu müssen, hat man den Hohlspiegeln eine andere Form zu geben gesucht, bei welcher die Abweichung wegen der Kugelgestalt ganz wegfällt. Diese Form ist die parabolische, welche man erhält, indem sich eine Parabel um die unverrückte Axe herumdreht.

Diese Axe wird auch die Axe des Spiegels und alle Strahlen, welche mit ihr parallel auffallen, sammeln sich genau in einem und demselben Punkte. Zwar bleibt noch eine Abweichung bei den Strahlen übrig, welche zwar unter sich parallel sind, aber gegen die Axe um gewisse Winkel geneigt, oder die von einem außerhalb der Axe liegenden unendlich weiten Punkte herkommen; aber diese Abweichung ist äußerst gering und namentlich geringer, als bei sphärischen Hohlspiegeln. Parabolische Hohlspiegel, die man bei Spiegeltelescopen anwendet, sind aber weit schwieriger zu verfertigen, als sphärische.

Bei Mikroscopen, wo die Objecte dem Spiegel sehr nahe liegen, hat der elliptische vor dem sphärischen den Vorzug. Diese Art Spiegel sind nach einer krummen Oberfläche geformt, welche entsteht, indem sich eine Ellipse um ihre unverrückte große Axe dreht. Diese Axe ist zugleich die Axe des Spiegels und die Brennpunkte der Ellipse sind auch seine Brennpunkte. Alle Strahlen nun, welche von dem einen Brennpunkt aus auf den elliptischen Spiegel fallen, vereinigen sich genau in dem andern Brennpunkt und es bleibt nur eine Abweichung bei denjenigen Strahlen übrig, die nicht aus einem Punkte der Axe kommen.

§. 51.

Die Eigenschaft der Hohlspiegel, Bilder zu machen, kann zu mancherlei angenehmen Spielwerken benutzt werden, die ungemein zauberische Wirkung hervorbringen, weil die luftigen Figuren ein äußerst zartes Aussehn haben. Man kann z. B. Blumenvasen, selbst lebende Dinge in freier Luft schwebend vorstellen, die verschwinden, sobald man ihnen zu nahe kommt und sie fassen will. Die Gegenstände, welche man abbilden will, müssen auf eine geschickte Art verborgen werden, und die Hohlspiegel, mit denen man

solche Erscheinungen hervorbringen will, dürfen nicht zu kurze Brennweite haben, damit die Bilder nicht zu klein ausfallen, auch müssen sie große Oeffnungen haben, damit die Vorstellung gehörig lichtvoll sey. — Auch kann man das Bild in einer transparenten Rauchwolke erzeugen, die man mittels eines Kohlenbeckens und Rauchwerk erzeugt.

Gewöhnlich wendet man zu solchen Versuchen gläserne Hohlspiegel an, die aus einem auf der einen Seite erhabenen und auf der andern gleich viel vertieften Glase (wie z. B. einem Uhrglase) bestehen, welches auf der erhabenen Seite nach Art der gewöhnlichen Zimmerspiegel mit Folie belegt wird. Die Brennweite eines solchen Spiegels ist ebenfalls dem halben Halbmesser der Kugel gleich, nach deren Oberfläche das Glas gekrümmt ist. Die doppelten Bilder sind hierbei von keinem erheblichen Nachtheile. — Wie sich auch belegte Sammelgläser als Hohlspiegel gebrauchen lassen, wird weiter unten gezeigt.

§. 52.

Ein weit wichtigerer Gebrauch der Hohlspiegel ist der, den man von ihnen als Lampenspiegel, Reverberen macht. Da wir nämlich wissen, daß diejenigen Strahlen, die aus dem Brennpunkte des Hohlspiegels kommen, so reflectirt werden, daß sie mit der Axe parallel fortgehen, so wird man mittels dieser Eigenschaft das Licht einer Lampe, die sich in dem Brennpunkte befindet, auf eine große Strecke ungeschwächt hinauswerfen können. Sie werden in der Regel aus übersilbertem Kupferbleche gemacht, mit dem Hammer in die parabolische Form geschlagen und aus freier Hand polirt. Ihre Anwendung findet vorzüglich bei Leuchtthürmen statt, wo sie das Licht noch in Entfernungen von mehreren Meilen sehen lassen.

§. 53.

Wenn man die Strahlen der Sonne auf einen Hohlspiegel von großer Oeffnung fallen läßt, so wird in dem Brennpunkt, oder vielmehr in dem Raume des kleinen Sonnenbildes ungemein große Hitze erzeugt, woher auch jener Punkt den Namen hat. Der Hohlspiegel wirkt also als Brennspiegel, indem er die sämmtlichen Strahlen der Sonne, welche auf seine Oberfläche fallen, in den kleinen Raum des Sonnenbildes hinweist, wo also eine ungeheure Verdichtung des Lichts stattfinden muß. Um den Grad der Dichtigkeit des Lichts im Brennraume zu schätzen, dienen folgende Ueberlegungen: Das Licht, welches auf die ganze kreisförmige Oberfläche des Brennspiegels fällt, wird in den Raum des Sonnenbilds zusammengedrängt, dessen Durchmesser nach §. 49 $= \frac{p}{108}$ ist und die Dichtigkeiten werden sich umgekehrt verhalten, wie die Flächen dieser beiden Kreise, also umgekehrt wie die Quadrate ihrer Durchmesser; nämlich wenn der Durchmesser der Spiegeloberfläche $= z$ gesetzt wird, so verhält sich die Dichtigkeit an der Spiegeloberfläche zu der im Brennraume, wie $\left(\frac{p}{108}\right)^2 : z^2 = \frac{p^2}{11664} : z^2$, so daß das Licht mittels des Brennspiegels

$$11664 \cdot \frac{z^2}{p^2} \text{ mal}$$

verdichtet wird. Hieraus sehen wir zugleich, daß die Verdichtung, wie das Quadrat der Breite des Spiegels zunimmt, abnimmt aber, wie das Quadrat der Brennweite und hieraus folgt, daß Brennspiegel eine im Verhältniß zu ihrer Brennweite große Oeffnung haben müssen.

Ist z. B. die Brennweite des Spiegels = 12 Zoll, seine Breite 6 Zoll, so wird das Licht im Brennraume $11664 \cdot \frac{6^2}{12^2} = 2916$ mal verdichtet und hiernach kann man sich die große Wirkung der Brennspiegel wohl erklären. Bei dieser Rechnung ist jedoch nicht die Verschluckung mit in Betracht gezogen, welche die spiegelnde Oberfläche auf das Licht ausübt.

Große Brennspiegel sind mehrmals verfertigt worden, unter andern einer von Tschirnhausen, der 3 Leipziger Ellen Durchmesser und 2 Ellen Brennweite hatte. Er war aus einer zwei Messerrücken starken Kupferplatte geschlagen und wohl polirt, hatte also im Verhältniß zu seiner Größe eine ungemeine Leichtigkeit. Man macht auch Brennspiegel von Holz oder Pappe, indem man die eine hohlgeformte Seite vergoldet und polirt.

Besonders merkwürdig sind die Brennspiegel, die man aus ebenen Spiegeln zusammensetzt und die Buffon zuerst in Ausführung gebracht hat. Läßt man nämlich die von vielen ebenen Spiegeln reflectirten Sonnenstrahlen sämmtlich in denselben Ort fallen, so ist klar, daß daselbst große Hitze erzeugt werden kann. Auf diese Weise verband Buffon 168 kleine Planspiegel so, daß sie mittels eines einfachen Mechanismus ihre Bilder alle nach einem Punkte hinwarfen und die Wirkung dieser Vorrichtung war der der heftigsten Brennspiegel gleich. Mit 40 Spiegeln zündete er z. B. in 50 Fuß Entfernung ein getheertes buchenes Bret an und schon 12 Gläser reichten hin, um in 20 Fuß Entfernung leichter brennbare Sachen, z. B. Feuerschwamm, in Brand zu stecken. Ein anderes Mal wurde mit 117 Gläsern Silber geschmolzen und mit 128 Gläsern auf 150 Fuß Entfernung ein getheertes tannenes Bret angezündet. — Auf sol-

che Weise mag Archimedes, wenn anders die Erzählung wahr ist, der römischen Flotte im Hafen von Syracus Schaden zugefügt haben.

Man setzt die kleinen Planspiegel in parabolischer Krümmung so zusammen, daß sie ihre Strahlen nach dem Brennpunkte der Parabel hinwerfen. Einer solchen Anordnung kann man sich auch als Leuchtspiegel bedienen, wenn man das Licht in den Zusammenstrahlungspunkt aller Spiegel stellt, wo es dann von diesen ungeschwächt in weite Entfernung fortgetragen wird.

§. 54.

Kegel= und walzenförmige Spiegel.

Man erhält sie, wenn man die Oberflächen senkrechter Kegel oder Walzen (Cylinder) polirt, am leichtesten mit hohlen, eben so geformten Gläsern, die man mit dem oben beschriebenen Quecksilber=Amalgam (§. 45) ausgießt; doch sind die metallenen auf alle Fälle vorzuziehen.

Die Wirkung solcher Spiegel ist leicht einzusehen. Ein Cylinderspiegel z. B. kann der Länge nach angesehen werden als ein ebener, der Breite nach aber als ein convexer, so daß er die Objecte wohl in ihrer richtigen Höhe vorstellt, in der Breite aber sie zusammenzieht, wodurch sehr entstellte Figuren zum Vorschein kommen. Noch mehr verzerrt der Kegelspiegel die Bilder, welcher der Höhe nach wie ein geneigter ebener Spiegel wirkt; nach der Breite ist er convex und verschmälert die Bilder und zwar nach der Spitze hin immer stärker, weil auch die Krümmungen immer stärker werden, so daß das Bild nach oben hin abgespitzt erscheint.

Solche Spiegel sind zu keinem ersten optischen Zwecke tauglich, sondern werden gebraucht, um verzerrt

gezeichnete Bilder in regelmäßigen Verhältnissen abzuspiegeln, worauf die unterhaltenden und sinnreichen catoptrischen Anamorphosen sich gründen, deren Verzeichnung wir mit Wenigem beschreiben wollen.

§. 55.

Bei den Cylinderspiegeln liegt das deformirte Bild auf dem horizontalen Boden und erscheint sodann in dem senkrecht stehenden Spiegel aufrecht. Es wird so verzeichnet.

Vor allem kommt es darauf an, eine Figur **SFGT** (Taf. XVI. Fig. 1) zu entwerfen, welche im cylindrischen Spiegel als ein regelmäßiges gegittertes Quadrat erscheint. Zu dem Ende zeichnet man einen Kreis **CHBV**, welcher der Grundfläche des Cylinders gleich ist, und bemerkt den Punkt **O**, wo das vom Auge auf den horizontalen Boden gefällte Perpendikel eintrifft. Zieht man nun von **O** aus Tangenten **OS**, **OT** an den Kreis, so werden die Strahlen, die von **S** und **T** in der Richtung dieser Tangenten ausgehen, gar nicht in ihrer Richtung verändert, weil der Einfallswinkel $= 90°$ wird. Aus dem Raume **SCBT** kann aber kein Strahl mehr in das Auge gelangen.

Man verbinde die Berührungspunkte **C** und **B** durch eine gerade Linie **CB** und theile dieselbe in beliebig viel gleiche Theile, in 1, 2, 3. Zieht man von **O** aus nach 1 die **O1**, so kann diese Linie als ein Strahl betrachtet werden und man kann den reflectirten Strahl **LF** leicht finden, indem man das Einfallsloth **KL** (aus dem Mittelpunkte des Kreises **CHBV**) zieht und den Winkel **FLA** = **OLA** macht. Auf gleiche Weise findet sich die Richtung **IG**, welche der von **O** nach 3 gehende und in **I** auf den Spiegel fallende Strahl nach der Reflexion hat. Der Strahl **OH** geht durch die Mitte von **CB**, steht

also senkrecht auf dem Spiegel und wird in sich selbst zurückgeworfen. Hat man die Linie CB in mehr als vier Theile getheilt, so erhält man auch mehr solche Linien, wie LF, nämlich das Quadrat wird in mehr kleinere Quadrate zerlegt.

Nun macht man einen rechten Winkel MNP (Fig. 2) und MP = der Höhe des Auges über dem Boden, MQ = OH, setzt QR senkrecht auf NM und macht QR = CB (Fig. 1). Dann theilt man die QR in eben so viel gleiche Theile, als CB, zieht durch R und die Theilpunkte c, b, a von P aus die Linien PN, PIII, PII, PI und macht CI = QI = BI = II = LI, CII = QII = BII = III = LII, CIII = QIII = BIII = IIII = LIII und endlich CS = QN = BT = IG = LF, so erhält man die Punkte I, II, III u. s. w. (Fig. 1), welche die Durchschnittspunkte zweier Linien im Quadratgitter vorstellen.

Nun verbindet man alle correspondirenden Punkte, wie die Punkte I, II u. s. w. durch krumme Linien, oder da eine sehr genaue Zeichnung, welche die Theilung der Linie CB in sehr viele Theile erfordern würde, nicht nöthig ist, so beschreibt man durch je drei correspondirende Punkte, z. B. durch II, IIa und IIb und durch IIa, IIb, IIc Kreisbögen und erhält das verzerrte Quadratgitter mit den vier Gittern SFLC, FLHO, OHIG, GIBT.

Wenn nun auf der Grundfläche CHBV ein senkrechter Cylinderspiegel steht, so wird sich in diesem die Figur SFGT als ein regelmäßiges Quadratgitter von der Breite CB abbilden und der Ort, in welchem das Auge stehen muß, liegt senkrecht über O in der Höhe MP.

Wenn man nun in ein Quadrat, das eben so viele Gitter hat, als Fig. 1, eine regelmäßige Figur zeichnet und deren Theile in das entsprechende Git-

ter der Figur 1 trägt, so erhält man eine ungemein verzerrte Figur, die im Spiegel regelmäßig erscheint. Es versteht sich, daß, wenn gehörige Genauigkeit verlangt wird, Fig. 1 in mehr als vier Gitter getheilt seyn muß.

§. 56.

Bei den Anamorphosen für Kegelspiegel liegt das verzerrte Bild ebenfalls auf einer horizontalen Kreisfläche, in deren Mitte sich der Spiegel senkrecht erhebt, das Auge aber steht in der verlängerten Axe des Kegels über dessen Spitze. Hier bildet sich also die ganze um den Spiegel liegende Ebene im Spiegel ab und erscheint dem Auge, das am besten durch ein kleines Loch hindurchsieht, ungefähr von der Größe der Grundfläche des Spiegels. Darnach ergibt sich folgende Regel zur Verzeichnung des deformirten Bildes.

Man beschreibe einen Kreis **abcdef** (Taf. XVII. Fig. 1), welcher der Grundfläche des Kegelspiegels gleich ist, und nachdem man sowohl dessen Peripherie in **a**, **b**, **c** u. s. w., als auch den Halbmesser **Ob** in 1, 2, 3 in beliebig viel gleich große Theile getheilt, beschreibe man aus dem Mittelpunkt **O** mit den Halbmessern **O1**, **O2**, **O3**, **O4** u. s. w. concentrische Kreise, so die Grundfläche des Kegels in Theile zerlegt wird, wie sie die Figur zeigt. In den Kreis **abcdef** wird eine Figur regelmäßig eingezeichnet und jene Linien und Kreise bilden das Netz.

Hierauf zeichnet man ein rechtwinkliges Dreieck **AQE** (Fig. 2), in welchem die Kathete **QE** dem Halbmesser **Ob** der Grundfläche, die Kathete **QA** der Höhe des Kegels gleich ist. Man theilt dann **QE** in eben so viel Theile, als **Ob**, verlängert **QA**, bis **QB** der Höhe des Auges über der Zeichnung gleich wird, zieht die Linien **B1**, **B2**, **B3** und bemerkt die Durchschnitte **C**, **D**, **G** mit **AE**. Dann

macht man den Winkel IAE = EAQ, IICE = 1CE, IIIDE = 2DE, IVGE = 3GE, wodurch sich in der verlängerten QE die Durchschnitte I, II, III, IV ergeben.

Endlich verlängert man die Halbmesser Oa, Ob u. s. w. und beschreibt aus O mit QIV, QIII, QII, QI concentrische Kreise, wodurch sich das Netz für die verzerrte Figur ergibt.

Was nämlich in Fig. 1 auf dem Kreise I sich befindet, wird mittels des Spiegels, wenn das Auge die rechte Stellung hat, in O gesehen und fällt daher in einen Punkt zusammen. Die Gegenstände auf dem Kreise II werden auf 1, die auf III auf 2, die auf IV auf 3 gesehen. Darnach kann man leicht nach Anleitung der beiden Netze die verzerrte Figur entwerfen.

§. 57.

Man hat auch pyramidenförmige Spiegel und besonders sind für Anamorphosen die vierseitigen senkrechten Pyramiden in Gebrauch, deren Grundfläche ein Quadrat ist. Das Auge kommt dabei ebenfalls in die verlängerte Axe der Pyramide zu stehen, und das deformirte Bild wird nach eben den Regeln entworfen, wie für Kegelspiegel, nur mit dem Unterschiede, daß die Grundfläche kein Kreis, sondern ein Quadrat ist. Man zeichnet nämlich ein Quadrat, welches der Grundfläche des Spiegels gleich ist, und zieht in ihm die Diagonalen, mit welchen man eben so verfährt, wie in §. 56 mit den Kreishalbmessern. Natürlich wird auch das Netz für das deformirte Bild ein Quadrat, so wie überhaupt alle Kreise in §. 56 in Quadrate übergehen und die Kreisdurchmesser in Quadratdiagonalen. Durch Linien, welche mit den Seiten des Quadrats durch den Durchschnittspunkt der Diagonalen parallel, oder gegen die Seiten schief

gezogen werden, kann man Netztheile von beliebiger Kleinheit erhalten.

Viertes Kapitel.

Von den Gesetzen der Brechung der Lichtstrahlen.

§. 58.

Wenn ein Lichtstrahl AE (Taf. XVI. Fig. 3) bei E aus einem durchsichtigen Körper in einen andern von größerer Durchsichtigkeit, z. B. aus Luft in Glas oder in Wasser, aus dem leeren Raum in Luft, Wasser u. s. w. eintritt, so geht er erfahrungsmäßig nicht in derselben Richtung von E nach C fort, sondern wird gleichsam bei E geknickt (gebrochen, refringirt) und nimmt die Richtung ED an, welche er auch in dem andern durchsichtigen Körper (Mittel) beständig beibehält, wenn dieses nicht etwa an verschiedenen Stellen verschiedene Dichtigkeit besitzt. — Für diese Brechung gelten nun folgende Gesetze:

1) Errichtet man auf der brechenden Fläche MN in dem Punkte E, wo der Strahl AE eintrifft, ein Loth BE (das Einfallsloth), so liegen der einfallende Strahl AE, der gebrochene ED und das Einfallsloth immer in derselben Ebene.

2) Geht der Strahl AE aus einem dünneren Mittel in ein dichteres über, so wird er nach dem Einfallslothe BF zu gebrochen, nämlich so, daß der Winkel DEF, den der gebrochene Strahl mit dem Einfallslothe macht, kleiner ist, als der Winkel ABE oder CEF, den der einfallende Strahl mit eben dem

Lothe bildet. Man nennt den Winkel AEB den Einfallswinkel, DEF den Refractionswinkel oder Brechungswinkel. — Geht der Lichtstrahl aus einem dichteren Mittel in ein dünneres über, z. B. aus Glas oder Wasser in Luft, so tritt der umgekehrte Fall ein, er wird nämlich vom Einfallslothe weggebrochen. Wenn der Strahl AE bei E aus Luft in Glas übergeht und hernach die Richtung ED annimmt, so nimmt auch umgekehrt der Strahl ED, wenn er bei E aus Glas in Luft tritt, die Richtung EA an.

3) Der Sinus des Einfallswinkels AEB hat zum Sinus des Brechungswinkels DEF immer dasselbe Verhältniß bei demselben brechenden Mittel, so daß die Größe des Einfallswinkels auf dieses Verhältniß gar keinen Einfluß hat. Man beschreibe nämlich mit einem beliebigen Halbmesser aus E in der Ebene des einfallenden und gebrochenen Strahls einen Kreis und fälle auf BF die Perpendikel HK oder im und pq, so ist HK = im der Sinus des Einfalls-, pq der Sinus des Brechungswinkels und das Verhältniß im : pq bleibt für alle Einfallswinkel dasselbe.

Das Verhältniß zwischen Einfallssinus und Brechungssinus für den Fall, daß der Strahl aus Luft in einen dünnern oder dichtern Körper übergeht, nennt man das Brechungsverhältniß dieses Körpers. Für gemeines Glas ist das Brechungsverhältniß etwa 1,5 ($= 1\frac{1}{2} = \frac{3}{2}$), für Wasser $= 1\frac{1}{3}$ und die Bedeutung dieser Zahlen ist folgende: Wenn ein Strahl AE aus Luft bei E z. B. in Glas übergeht, so verhält sich pq : im = 1 : 1,5 oder = 2 : 3, nämlich der Sinus im oder HK des Einfallswinkels ist $1\frac{1}{2}$ = 1,5 mal größer, als der Brechungssinus pq.

Darnach läßt sich also die Richtung ED des gebrochenen Strahls leicht zeichnen. Man beschreibe nämlich mit beliebigem Halbmesser aus dem Einfalls-

punkte E in der durch den einfallenden Strahl AE und durch das Einfallsloth BE gehenden Ebene einen Kreis, fälle das Perpendikel HK und mache Et (welche Linie senkrecht auf BF steht) $= \frac{HK}{1,5}$, nämlich = HK dividirt durch das Brechungsverhältniß. Zieht man nun tp mit BF parallel, wodurch man den Durchschnitt p erhält, und zieht Ep, so ist Ep die Richtung des gebrochenen Strahls. Ueberhaupt muß man den gebrochenen Winkel DEF so groß nehmen, daß sein Sinus dem durch das Brechungsverhältniß dividirten Sinus des Einfallswinkels gleich ist. — Wenn umgekehrt ein Strahl DE aus Glas in Luft tritt, so findet man die Richtung EA, in welcher der Strahl in der Luft fortgeht, wenn man den Brechungswinkel KEH so nimmt, daß sein Sinus dem mit dem Brechungsverhältniß multiplicirten Sinus des Einfallswinkels DEF gleich ist, nämlich $HK = pq \times 1,5$. Fällt ein Lichtstrahl mit dem Einfallslothe zusammen, so wird er gar nicht gebrochen.

§. 59.

Wenn ein Lichtstrahl aus einem dichteren Körper in einen dünneren übergeht, so kann es kommen, daß die Brechung ganz unmöglich wird, wo sie dann in eine Spiegelung übergeht. Es sey z. B. MNLK ein Glaskörper, der bei MN mit einer ebenen Fläche begrenzt ist, und AE ein bei E in die Luft tretender Strahl. Zieht man nun durch E das Loth BF, so ist AEF der Einfallswinkel, welchen wir so groß setzen wollen, daß sein Sinus 0,8 (des Halbmessers) beträgt. Wenn daher das Brechungsverhältniß = $\frac{3}{2}$ ist, so müßte der Brechungswinkel BEG so groß seyn, daß sein Sinus $= 0,8 \times \frac{3}{2} = 1,2$ (des Halbmessers) würde, was nicht möglich ist, da kein

Sinus größer seyn kann, als der Halbmesser. In diesem Falle kann der Strahl AE bei E gar nicht das Glas verlassen, sondern er wird von der Ebene MN wie von einem Spiegel ganz nach den Gesetzen der Spiegelung in die Richtung ED reflectirt, so daß der Winkel AEF = FED wird. Bei dieser Reflexion wird dem Lichtstrahle gar nichts von seiner Intensität benommen.

Die bisher besprochene Brechung ist die gewöhnliche oder einfache, in sofern der Lichtstrahl nach der Brechung noch einfach bleibt und nicht, wie bei der doppelten Brechung des isländischen Doppelspaths und anderer Krystalle, gleichsam gespalten wird, so daß die hindurchgesehenen Objecte doppelt erscheinen. Die Erörterung der doppelten Brechung liegt jedoch eben so außer dem Zwecke dieses Lehrbuchs, als die Erörterung der Polarisationsgesetze, deren Erscheinungen ebenfalls mit denen der Brechung in Verbindung zu bringen sind.

Zu bemerken wäre etwa noch, daß bei der Brechung allemal das Licht einen Theil der Intensität verliert, indem, wie wir schon wissen, die brechende Oberfläche zugleich auch einen Theil des Lichts reflectirt und das brechende Mittel selbst etwas vom durchgehenden Lichte verschluckt oder unordentlich zerstreut. Eine durchsichtige Glasplatte spiegelt zweimal, an der Vorderfläche und dann wieder an der Hinterfläche, doch ist bei der Brechung der Lichtverlust bei weitem nicht so groß, als bei der Spiegelung, denn beim Durchgange des Lichts durch eine nicht allzu starke Glasplatte ist der Verlust etwa nur 0,8 des auffallenden Lichts.

§. 60.

In der Natur gibt es unzählige Erscheinungen, welche in der Brechung der Lichtstrahlen ihren Grund

haben und es bedarf keiner künstlichen Vorrichtungen, sich von der Art und Weise, wie die Brechung wirkt, hinlängliche Klarheit zu verschaffen. Man tauche nur einen geraden Stab zum Theil ins Wasser, so wird er da, wo er die Oberfläche des Wassers berührt, geknickt erscheinen, indem die an der Oberfläche des Wassers gebrochenen Strahlen in anderer Richtung ins Auge gelangen, als die, welche blos durch die Luft gehen. Legt man ein Geldstück in eine Schüssel und tritt von derselben so weit zurück, bis man das Geldstück vor dem Rande der Schüssel nicht mehr sieht, so wird man es alsbald wieder erblicken, wenn man Wasser in die Schüssel gießt; denn alsdann werden die Strahlen, welche von dem Geldstück ausgehen, an der Oberfläche des Wassers von dem auf ihr stehenden Perpendikel weggebrochen und gelangen so in das Auge, während dieses, wenn kein Wasser in der Schüssel ist, nicht möglich ist, indem die Strahlen, welche nahe am Rande der Schüssel herausgehen, schon zu hoch sind, um das Auge zu treffen. Ein gewöhnliches Werkzeug physikalischer Kabinette, womit man die Lichtbrechung darthut, ist das anaklastische von Kepler, ein gläserner Würfel, vor welchem auf einem ebenen Brete ein senkrechter Stift steht, der nicht höher ist, als der Würfel. Man beobachtet da leicht, wie der Schatten des Stifts, wenn der Würfel dahinter gesetzt wird, sich verkürzt.

§. 61.

Wir wollen noch untersuchen, wie Lichtstrahlen durch ein Glas gebrochen werden, welches auf beiden Seiten von zwei parallelen ebenen Flächen begrenzt ist. Aus einem solchen Glase treten aber die Strahlen in derselben Richtung aus, in welcher sie eintraten und die Objecte werden daher durch dasselbe ebenso gesehen, als mit freiem Auge, eine geringe Verrückung

abgerechnet, die bei der geringen Dicke des Glases nicht merklich werden kann. Unsere Fensterscheiben geben hiervon den klaren Beweis.

Es sey MN (Taf. XV. Fig. 6) ein senkrechter Durchschnitt eines solchen Glases, AE ein Lichtstrahl und BE das Einfallsloth, und wenn man das Brechungsverhältniß = n setzt, so ist $\sin IEC = \frac{\sin AEB}{n}$. Bei I findet die zweite Brechnng statt, und wenn man das Einfallsloth cI zieht, so ist $\sin cID = n \sin EIb$; aber $EIb = CEI$, folglich auch $\sin cID = n \cdot \sin CEI = n \cdot \sin \frac{AEB}{n}$ $= \sin AEB$, daher $cID = AEB$, d. h. der einfallende Strahl ist mit dem ausfahrenden parallel und hieraus folgen leicht die oben aufgestellten Behauptungen.

§. 62.

Das gläserne Prisma.

Bedeutende Verrückungen der Bilder erhält man aber, wenn die zwei ebenen brechenden Flächen eines Glasstücks sich unter einem Winkel schneiden, in welchem Falle ein dreiseitiges Prisma entsteht, das für die Optik ein wichtiges Werkzeug ist. Es sey ABC (Taf. XVI. Fig. 5) ein senkrechter Durchschnitt eines solchen Prisma und AE ein auf die Fläche AB fallender Strahl. Zieht man durch E das Einfallsloth DF, so wird der Strahl nach diesem zu gebrochen und nimmt die Richtung EI an, in welcher er bei I auf die Fläche AC gelangt. Zieht man jetzt wieder durch I das Einfallsloth KL, so wird der Strahl EI, dessen verlängerte Richtung IM ist, vom Lothe KL weggebrochen und nimmt die Richtung IO an, in welcher man den Gegenstand erblickt, wenn man

das Auge in O stellt. Der Gegenstand A erscheint nun in A′.

Man sieht leicht ein, daß unter den Winkeln des Prismas blos der Winkel A auf die Brechung Einfluß hat, dessen Schenkel von dem einfallenden und gebrochenen Strahle getroffen werden, daher man diesen Winkel auch den brechenden Winkel des Prisma nennt. — Sieht man durch ein solches Prisma hindurch, so erscheinen die Objecte, außerdem, daß sie verrückt sind, noch mit bunten Rändern umgeben, eine Erscheinung, von welcher später Rechenschaft gegeben wird.

§. 63.

Wir bemerken hier zunächst nur den Gebrauch des gleichschenklich rechtwinkligen Prismas, bei welchem ein Winkel = 90°, die beiden andern aber jeder = 45° ist und bei welchem daher die Fläche eines senkrecht auf die Seitenflächen geführten Durchschnitts ein gleichschenklich rechtwinkliges Dreieck ist. Dieses läßt sich nämlich so stellen, daß alle Strahlen, welche auf eine Kathetenfläche fallen, von der Hypothenusenfläche nicht durchgelassen, sondern reflectirt werden und von da durch die andere Kathetenfläche gehen. Es sey ABC (Taf. XVII. Fig. 3) ein senkrechter Durchschnitt eines solchen Prismas, A der rechte Winkel, so sind die Winkel B und C jeder 45°, AC und AB sind die beiden Durchschnitte der Kathetenflächen, BC ist der Durchschnitt der Hypothenusenfläche. Nun falle der Einfachheit wegen der Strahl ZE senkrecht auf die Kathetenfläche AC, so geht er ungebrochen in das Prisma hinein und trifft die Hypothenusenfläche bei D. Zieht man hier das Einfallsloth DK, so ist der Einfallswinkel KDZ = 45° und sein Sinus = 0,707. Demnach würde, weil nun der Strahl aus Glas in Luft gehen

muß, der Sinus des Brechungswinkels = $\frac{3}{2} \times 0,707$ = 1·06 werden, wenn das Brechungsverhältniß = $\frac{3}{2}$ gesetzt wird. Da aber dieser Sinus größer als 1 werden würde, nämlich größer, als der Halbmesser, so geht nach §. 58 die Brechung in Spiegelung über und der Strahl **DE** wird in der Richtung **DF** reflectirt, welche die andere Kathetenfläche **AB** senkrecht trifft, so daß der Strahl abermals ungebrochen aus dem Prisma heraustritt. Ein Auge also, das sich in **O** befindet, wird den Gegenstand **Z** in z erblikken. — Wenn der Strahl **ZE** gegen die Kathetenfläche eine kleine Neigung hat, so bleibt der Vorgang im Wesentlichen derselbe, nur findet zugleich an beiden Kathetenflächen eine kleine Brechung statt in der Weise, daß sich die Brechungen dieser beiden Flächen aufheben und dieselben, abgesehen von der Verrückung des Bildes, so wirken, wie ein Glas mit zwei parallelen Ebenen. Aus diesem Grunde sind auch die Bilder nicht mit farbigen Rändern umgeben.

Vermittels dieser Eigenschaft des gleichschenklich rechtwinkligen Prismas lassen sich, außer den ernsthaften optischen Zwecken, auch mancherlei kurzweilige Vorrichtungen erdenken. In einem Kasten befindet sich z. B. an der Decke ein Gemälde eines Gartens, auf dem Boden aber nur ein Riß desselben. Indem man durch ein Loch zur Seite hineinsieht, erblickt man den Riß, wenn man aber durch das richtig gestellte Prisma hinsieht, erblickt man den Garten an der Decke und es scheint sich der Riß in einen wahren Garten umgewandelt zu haben. Auch lassen sich noch andere lustige Verwandlungen erdenken. Das Prisma kann in einer Nuth hin und her geschoben werden, damit man nach Gefallen den Gegenstand am Boden oder den an der Decke sehen kann.

Ein anderer Gebrauch des gleichschenklich rechtwinkligen Prismas besteht in der Umkehrung der Lage

von Bildern, z. B. bei der Camera obscura, wenn man dem verkehrten Bilde, welches das Objectivglas hervorbringt, die aufrechte Stellung wieder geben will. Hierbei wird der rechte Winkel A (Taf. XXIV. Figur 5) nach unten gekehrt. Es sey nun ZE ein Object und ZD ein vom Punkte Z kommender Strahl; dieser wird von der Kathetenfläche AB nach der Hypothenusenfläche zu gebrochen, von dieser in H nach der andern Kathetenfläche AC reflectirt, welche ihn zum zweitenmal in die Richtung Fz bricht, die mit ZD parallel ist. Von E lasse man den Strahl EI mit ZD parallel auf die Fläche AB fallen, so wird er in die Richtung IK gebrochen, die mit DG parallel ist, und auf gleiche Weise ist der reflectirte Strahl KL mit GF, der zum zweitenmal gebrochene Le mit Fz parallel. Die Strahlen ZD und EI haben also nach der zweiten Brechung ihre Lage umgekehrt, woraus folgt, daß auch das Bild von ZE in ze umgekehrt erscheinen muß.

§. 64.

Hierher gehört auch noch das **Rautenglas** oder **Polyeder**, ein Glas, welches auf der einen Seite eben, auf der andern aber vieleckig, oder mit mehreren gegen einander geneigten Facetten geschliffen ist, die gewöhnlich rautenförmige Gestalt erhalten. Taf. XVI. Fig. 6 ist der Durchschnitt eines solchen Glases vorgestellt. Hier empfängt jede der geneigten Vorderflächen Strahlen von dem Gegenstand E, welche nach einer doppelten Brechung an der Vorder- und Hinterfläche des Glases wieder mit dessen Axe (der durch die Mitte gehenden senkrechten Linie EO) vereinigt werden und daher kommt es, daß ein in der Axe befindliches Auge den Gegenstand durch jede Facette besonders sieht, d. h. so viele Bilder des Gegenstands erblickt, als Facetten da sind. Größe

und Gestalt der Objecte werden dadurch nicht sehr geändert, weil verschiedene Lichtstrahlen ihre Winkel mit einander bei Brechungen durch ebene Flächen nur wenig ändern, wenn die Winkel nicht groß sind.

So besteht die Wirkung der Polyeder in einer Vervielfältigung der Bilder. Man macht aber noch einen andern Gebrauch von ihnen bei den dioptrischen Anamorphosen, welcher darauf beruht, daß das Auge, wenn es etwas weiter von dem Glase, als gewöhnlich, entfernt wird, durch jede Vorderfläche nur einen bestimmten Theil eines vor dem Glase stehenden Gemäldes zu sehen bekommt. Auf diesen Theilen, die man insgemein durch Proben bestimmt, werden Dinge vorgestellt, die durch andere Theile des Gemäldes getrennt sind, aber durchs Polyeder betrachtet nach der Ordnung seiner Vorderflächen dicht an einander schließen. So sieht man durchs Glas etwas ganz anderes, als was das Gemälde dem bloßen Auge vorstellt und kann dies zu allerhand Spielwerken benutzen.

§. 65.

Von der Farbenzerstreuung.

Läßt man durch eine enge Oeffnung eines verfinsterten Zimmers einen Sonnenstrahl **ZE** einfallen (Tafel **XVII.** Fig. 5) und fängt denselben mittels eines Prismas **ABC** auf, so zeigt sich nicht nach dem Durchgange des Strahls durch das Glas auf der dahinter stehenden weißen Wand ein kreisrundes Sonnenbild, wie es doch nach der Beschaffenheit des verfinsterten Zimmers erwartet werden sollte, da das Prisma durch seine Brechung nur die Richtung des Strahls und folglich den Ort des Bildes an der Wand ändern kann; man bemerkt vielmehr einen aus den Farben des Regenbogens, wie sie in diesem nach einander folgen, zusammengesetzten Fleck **EF**, welcher zur Seite geradlinig, oben und

unten aber kreisförmig begrenzt ist. Unten bei F befindet sich das Roth, dann folgen Orange, Gelb, Grün, Blau, Indigofarbe und endlich bei E das Violet.

Newton war der erste, der über diese wunderbare und schöne Erscheinung genaue Versuche anstellte und richtige Gedanken faßte. Da die Erscheinung im Wesentlichen immer dieselbe blieb, das Prisma mochte aus was immer für einer Materie bestehen, da namentlich die Ordnung der Farbenfolge immer dieselbe war und bei dem erwähnten Versuche das blaue Bild oben, das rothe unten sich befindet: so schloß Newton, der weiße Lichtstrahl sey aus verschiedenen farbigen Strahlen (heterogenen Theilen) zusammengesetzt, denen verschiedene Brechbarkeit zukomme und nach dieser Hypothese mußte natürlich das violete Licht am meisten, das rothe aber am wenigsten gebrochen werden, woraus sich die Eigenschaften des prismatischen Farbenbilds (Spectrums) vollkommen erklären. Die Verbindung der prismatischen Farben gibt wieder dasselbe Weiß, woraus sie entstanden waren, was durch einen einfachen Versuch vollkommen bestätigt wird. Denn man fange nur den Lichtstrahl, nachdem er durch das Prisma zerstreut worden, wieder mit einem Sammelglase auf, so wird man da, wo dieses Glas alles Licht in den engsten Raum zusammenbringt (welchen Ort man am leichtesten durch Versuche findet) kein farbiges, sondern ein aus der Vereinigung aller Farben hervorgegangenes weißes Bild bemerken. Entfernt man aber den Schirm weiter vom Sammelglase, so werden jene farbigen Bilder wieder in umgekehrter Ordnung zum Vorschein kommen, weil nunmehr die Strahlen, die sich im Focus des Sammelglases vereinigt hatten, wieder aus einander fahren.

Läßt man einen farbigen Strahl, der durch die Zerstreuung eines Prismas entstanden ist, einzeln durch ein zweites Prisma gehen, so wird er nicht wieder zerstreut, sondern nur so gebrochen, wie es seinem Brechungsverhältniß angemessen ist.

§. 66.

Sonach besteht das weiße Licht (der Sonne) aus sieben verschiedenen Lichtarten, die sich durch ihre verschiedene Farbe zu erkennen geben und bei der Brechung durch ein Prisma darum hervortreten, weil jede besondere Farbe ihr eignes Brechungsverhältniß hat, oder weil den verschiedenen Farben verschiedene Brechbarkeit zukommt. Jede Farbe muß als optisch einfach angesehen werden, weil sie keiner neuen Zerlegung fähig ist, obgleich die Farbe nicht malerisch einfach zu seyn braucht, sondern aus zwei andern Farben durch Mischung hervorgebracht werden kann. So ist z. B. das Grün des prismatischen Spectrums optisch einfach, obschon es sich aus Blau und Gelb mischen läßt, d. h. nicht malerisch einfach ist. Dagegen ist eine grüne Mischung aus Blau und Gelb nicht optisch einfach, denn sie wird durch ein Prisma wieder in Blau und Gelb, als die optisch einfachen Grundbestandtheile zerlegt.

Wenn ein weißer Lichtstrahl durch ein Glas mit zwei parallelen Flächen hindurch geht, so wird er bei der Brechung an der ersten Fläche in Farben gespalten, jeder farbige Strahl wird aber beim Austritt aus der Hinterfläche so gebrochen, daß er mit dem weißen parallel wird; daher sind alle farbigen Strahlen auch unter sich parallel und bilden zusammen einen weißen Strahl. Wenn aber ein weißer Lichtstrahl durch ein Prisma gebrochen und zerstreut wird, so divergiren die verschiedenfarbigen Theile nach dem Austritt aus der Hinterfläche und

stellen daher das beschriebene Spectrum vor, wenn man sie auf einer weißen Wand auffängt.

Außer den genannten sieben Farben hat das prismatische Sonnenbild auch noch andere merkwürdige Eigenschaften, die aber der Dioptrik zunächst nichts weiter angehen. Außer den farbigen sichtbaren Strahlen gibt es nämlich noch andere unsichtbare, welche Wärme erregen und durch das ganze Spectrum so vertheilt sind, daß die wärmende Kraft vom Violet nach dem Roth hin zunimmt, aber die größte Wärmeerregung jenseits der rothen Strahlen stattfindet, wo nichts mehr vom Spectrum zu sehen ist. Dagegen gibt es in der entgegengesetzten Richtung, mit beständiger Zunahme von Roth und Blau hin Strahlen, welche chemische Eigenschaften besitzen, besonders desoxydirend wirken und zwar jenseits des Violet, wohin sich die Sichtbarkeit des Spectrums nicht mehr erstreckt, am stärksten. Auch ist es durch viele Versuche außer Zweifel gesetzt, daß besonders die violeten Strahlen in unmagnetischem Eisen magnetische Polarität erregen.

§. 67.

Besonders merkwürdig und für die praktische Dioptrik höchst wichtig ist die von Frauenhofer entdeckte Existenz heller und dunkler, scharf begrenzter Streifen im prismatischen Spectrum, die auf den längern Seitenlinien senkrecht stehen. Um nämlich die Brechungsverhältnisse der heterogenen Strahlen zu messen, bedient man sich des Prismas und des dadurch hervorgebrachten Farbenbilds, aber ein übler Umstand dabei ist der, daß die einzelnen Farben nicht scharf abgegrenzt sind, sondern sich allmählig in einander verlieren, wodurch für die Messung kein sicherer Anhaltepunkt gegeben ist. Diese Anhaltepunkte entdeckte Frauenhofer in den genannten Linien, als er

das Farbenbild mittels eines achromatischen Fernrohrs betrachtete und wußte dadurch den Messungen der Brechungsverhältnisse eine Genauigkeit zu geben, wie man sie zeither nur bei astronomischen Beobachtungen zu sehen gewohnt war. Jener Streifen existiren an 600, aber Frauenhofer bemerkte von denselben vorzugsweise 7, B, C, D, E, F, G und H, welche deutlich zu sehen und leicht zu finden sind. B liegt im Roth nahe an dessen äußerm Rande; C ist ein breiter und dunkler Streifen und liegt über die Mitte des Roth hinaus; D liegt im Orange und ist ein dicker, deutlicher doppelter Streifen, dessen beide Theile fast von einerlei Größe und durch einen glänzenden Streifen getrennt sind; E befindet sich im Grün und besteht aus mehreren Linien, von denen die mittelste die stärkste ist; F ist eine sehr deutliche Linie im Blau; G liegt im Indigo und H im Violet. Außer diesen finden sich noch andere vor, die bemerkt zu werden verdienen. Zwischen B und C befindet sich im Roth eine dunkle gut markirte Linie und zwischen dieser und B sieht man eine Gruppe von 7 bis 8 Linien, die zusammen einen dunklen Streifen bilden. Zwischen B und C befinden sich 9 Linien, zwischen C und D 30, zwischen E und D 84 von verschiedener Größe, zwischen E und F näher an E finden sich drei stark gezeichnete Linien mit einem sehr hellen Raume zwischen den beiden stärksten von ihnen; zwischen diesen und F nimmt man 52, zwischen F und G 185, zwischen G und H 190 Linien wahr. —

Die Anzahl dieser Linien und ihre gegenseitige Lage sind bei Sonnenlicht unveränderlich und nehmen immer ihre Stellen in denselben farbigen Räumen ein, aus was für einem brechenden Mittel das Prisma auch bestehen mag. — Aber bei anderem, als dem Sonnenlichte sind die Streifen verschieden, wodurch

diese an sich so räthselhafte Erscheinung noch räthselhafter wird.

§. 68.

Die bisher allgemein angenommene Hypothese, daß das weiße Licht aus 7 verschiedenen Farben von verschiedener Brechbarkeit bestehe, ist durch Brewsters Beobachtungen etwas modificirt worden. Nach seinen Beobachtungen nämlich besteht das prismatische Farbenbild nur aus den drei Farben: Roth, Gelb und Blau, welche, im gehörigen Verhältnisse gemischt, Weiß geben. Jede dieser drei Farben ist durch die ganze Länge des Spectrums ausgedehnt, besitzt aber an verschiedenen Stellen verschiedene Intensität; eine gewisse Quantität von jeder der drei Farben gibt Weiß, was von einer oder zwei Farben über diese Quantität zu viel ist, gibt die vorherrschende Farbenempfindung. So sind z. B. im Roth zwar auch Gelb und Blau vorhanden, aber diese letzteren Farben geben mit einer gewissen Quantität des Roth Weiß und der Ueberschuß des Rothen gibt die Empfindung der rothen Farbe. Im Grün sind Gelb und Blau im Ueberschuß über das Roth vorhanden, um Weiß zu geben und dadurch wird die grüne Farbe erzeugt. Demnach gibt es Roth, Gelb und Blau von verschiedener Brechbarkeit, da sich sonst jede dieser Farben nicht durch die Länge des ganzen Spectrums ausbreiten könnte und verschiedene Farben haben nicht immer verschiedene Brechbarkeit; denn das Roth, Gelb und Blau, welches sich an derselben Stelle des Farbenbilds befindet, muß gleiche Brechbarkeit besitzen. Könnte man den Ueberschuß einer jeden Farbe über die Quantität, die zum Weiß erforderlich ist, dadurch absorbiren, daß man das Licht durch ein durchsichtiges Medium gehen ließe, welches den Ueberschuß verschluckte (wie z. B. blaugefärbte

Gläser sehr lebhaft die rothen Strahlen verschlucken), so würde man ein Weiß erhalten, das durch das Prisma nicht mehr in Farben zerlegt werden könnte.

§. 69.

Die Intensität des Lichts im prismatischen Farbenbild ist an verschiedenen Stellen verschieden; der hellste Ort liegt um $\frac{1}{4}$ oder $\frac{1}{3}$ der ganzen Länge von dem rothen Endpunkt entfernt. Nehmen wir die Intensität des Lichts an der Stelle, wo es am stärksten ist, als Einheit an, so ist es in den nach §. 67 bestimmten Zwischenräumen zwischen den Linien **B**, **C**, **D** u. s. w. auf folgende Weise vertheilt:

Lichtstärke	zwischen	**B**	und	**C**	=	0,021
—	—	**C**	—	**D**	=	0,299
—	—	**D**	—	**E**	=	1,000
—	—	**E**	—	**F**	=	0,328
—	—	**F**	—	**G**	=	0,185
—	—	**G**	—	**H**	=	0,035

oder wenn wir die ganze Summe des Lichts als Einheit annehmen:

Lichtstärke	zwischen	**B**	und	**C**	=	0,0113
—	—	**C**	—	**D**	=	0,1599
—	—	**D**	—	**E**	=	0,5354
—	—	**E**	—	**F**	=	0,1757
—	—	**F**	—	**G**	=	0,0990
—	—	**G**	—	**H**	=	0,0187

§. 70.

Es lassen sich Flammen darstellen, in welchen die eine oder die andere Art vom Lichte des prismatischen Sonnenbildes ganz fehlt. Hier ist es blos von Wichtigkeit, die von Brewster erfundene monochromatische (einfarbige) Lampe zu bemerken, welche man erhält, wenn man bei einer Weingeistlampe den Docht vorher mit Salzwasser tränkt und trocknen

läßt, oder auch, wenn man im Weingeiste selbst Kochsalz auflößt. Die Flamme enthält dann blos gelbes Licht, ohne die blaßblaue Flamme, welche bei der gewöhnlichen Weingeistlampe noch neben der gelben Flamme existirt. Man gebraucht diese Lampe allenthalben da, wo ein deutliches Sehen sehr nothwendig ist und sie ist zur Erleuchtung mikroskopischer Objecte ganz vorzüglich dienlich.

§. 71.

Es ist noch übrig, daß wir das, was wir Farbenzerstreuung nennen wollen, auf bestimmte Berechnungen zurückführen. — Die violete Farbe aber wird am stärksten gebrochen, d. h. ihr kommt bei demselben brechenden Mittel das größte Brechungsverhältniß zu; die Brechungsverhältnisse der übrigen Farben nehmen in der Ordnung ab, wie sie im prismatischen Farbenbild auf einander folgen, so daß der rothen das kleinste Brechungsverhältniß zukommt. Das Mittel zwischen den Brechungsverhältnissen der violeten und rothen Strahlen (die halbe Summe beider) ist das mittlere Brechungsverhältniß, welches in der Regel nahe auf die blauen Strahlen fällt. Da aber diese Strahlen, wie man aus §. 69 sieht, den gelben oder gelbgrünen an Intensität weit nachstehen, so meint man bei sonstigen dioptrischen Untersuchungen unter Strahlen mittlerer Brechbarkeit in der Regel die letztern und zwar allenthalben da, wo man die Farbenzerstreuung außer Augen läßt.

Zieht man nun das mittlere Brechungsverhältniß von dem der violeten Strahlen, oder das der rothen Strahlen vom mittlern Brechungsverhältniß ab (welche beide Differenzen gleich sind), so heißen die Unterschiede die F a r b e n z e r s t r e u u n g. Für eine Art Kronglas ist z. B. das Brechungsverhältniß für die violeten Strahlen = 1,5466, für die rothen =

1,5258, also das mittlere Brechungsverhältniß = $\frac{1,5466 + 1,5258}{2} = \frac{3,9724}{2} = 1,5362$, daher die Farbenzerstreuung = 1,5466 — 1,5362 = 0,0104. Für die genannte Glasart waren folgende Brechungsverhältnisse gefunden worden:

Roth	1,5258
Orange	1,5268
Gelb	1,5296
Grün	1,5330
Blau	1,5360
Indigo	1,5417
Violet	1,5466

Sollen aber die Zerstreuungen mehrerer Glasarten mit einander verglichen werden, so darf man nicht blos den obigen Unterschied zwischen den Brechungsverhältnissen der mittlern und violeten Strahlen in Betracht ziehen, sondern man muß aus Gründen, die in den dioptrischen Rechnungen liegen, diesen Unterschied noch mit dem um 1 verminderten mittlern Brechungsverhältniß dividiren, wo man dann den Quotienten die zerstreuende Kraft nennt. So würde für die obige Kronglassorte die zerstreuende Kraft = $\frac{0{\cdot}0104}{0,5362} = 0{\cdot}0194$ werden. So kann es kommen, daß die Unterschiede zwischen den Brechungsverhältnissen der mittlern und violeten Strahlen bedeutend verschieden sind, die zerstreuenden Kräfte aber gleich ausfallen. Beim Diamant ist z. B. das Brechungsverhältniß für den violeten Strahl = 2,467, für den rothen = 2,411, also das mittlere Brechungsverhältniß = $\frac{2,467 + 2,411}{2} = 2,439$ und folglich auch die Zerstreuung = 2,467 — 2,439 = 0,028. Darum auch die zerstreuende Kraft =

$\frac{0,028}{2,439-1} = \frac{28}{1439} = 0,0194$, eben so groß, wie bei der obigen Flintglassorte.

Oft sind die mittlern Brechungsverhältnisse zweier durchsichtigen Mittel nur wenig, die zerstreuenden Kräfte aber merklich unterschieden. Für eine Sorte Flintglas ist z. B.

das Brechungsverhältniß der rothen			Strahlen	1,6020
—	—	— orangenen	—	1,6038
—	—	— gelben	—	1,6085
—	—	— grünen	—	1,6145
—	—	— blauen	—	1,6200
—	—	— indigofarbnen	—	1,6308
—	—	— violeten	—	1,6404

Darnach findet sich das mittlere Brechungsverhältniß $= 1,6212$, die Zerstreuung $= 0,0192$ und die zerstreuende Kraft $= \frac{0,0192}{0,6212} = 0,0309$ und man sieht, daß diese bedeutend größer ist, als bei der vorigen Kronglassorte, während die mittlern Brechungen nicht gar sehr unterschieden sind. — Einem Fehlschlusse Newton's zufolge glaubte man anfangs, daß bei allen durchsichtigen Mitteln die zerstreuenden Kräfte gleich seyn, was aber jetzt zur Genüge widerlegt ist.

§. 72.

Nach dem Bisherigen ist einleuchtend, daß bei jeder Brechung, wenn dieselbe nicht wie bei einem Glase mit parallelen Ebenen wieder aufgehoben wird, auch Farbenzerstreuung stattfindet, doch gilt das nur für den Fall, daß der Strahl nicht durch Mittel von verschiedener Zerstreuungskraft geht. Denn man kann zwei Prismen **ABC** (Taf. XVII. Fig. 5) und **ABD** von Kron- und Flintglas so mit einander verbinden, daß die Brechung nicht aufgehoben wird, d. h. daß

der austretende Strahl dem einfallenden nicht parallel ist und doch keine Farbenzerstreuung stattfindet, mithin die Gegenstände, welche man durch diese Prismenverbindung betrachtet, zwar aus ihrer Stelle gerückt scheinen, aber nicht, wie beim einfachen Prisma, mit farbigen Säumen umgeben sind. Um dieses zu leisten, muß das Prisma **A B C** von Kronglas und sein brechender Winkel x nach unten gekehrt seyn. Das Prisma **A B D** dagegen ist von Flintglas und sein brechender Winkel y nach oben gerichtet. Der Winkel x ist größer als y und zwar verhält sich x zu y, wie die zerstreuende Kraft des Flintglases zu der des Kronglases, wobei vorausgesetzt wird, daß die brechenden Winkel nicht sehr groß sind.

Das Prisma **A B C** würde nämlich den Strahl von mittlerer Brechbarkeit **Z E** in die Richtung **I H** brechen, aber das Prisma **A B D** bricht ihn wieder abwärts in die Richtung **K L**; da aber der Winkel y viel kleiner ist, als x und die Brechungsverhältnisse beider Glasarten nicht sehr verschieden sind, so bricht das Prisma **B A D** die mittlern Strahlen nicht so stark, als **C A B** und es kann daher auch nicht **K L** mit **Z E** parallel seyn. Das violete Licht wird durch das Prisma **A B C** stärker gebrochen, als das mittlere und nimmt daher beim Austritte seine Richtung von **I** nach **H'**, aber das Prisma **A B D** wirkt vermöge der größern zerstreuenden Kraft stärker auf den violeten, als auf den mittlern Strahl und ist daher vermögend, wenn die Einrichtung gut getroffen wird, den violeten Strahl so weit herabzubrechen, daß er mit dem mittlern **K L** parallel wird und die Farbenzerstreuung demnach aufgehoben ist.

Würde man die brechenden Winkel x und y so einrichten, daß der austretende mittlere Strahl **K L** mit dem einfallenden **Z E** parallel wäre, so würde

zwar die Brechung aufgehoben seyn, nicht aber die Farbenzerstreuung.

Aendert man die brechenden Winkel x und y zweier Prismen aus Kron- und Flintglas so lange, bis die Farbenzerstreuung aufgehoben ist und dividirt man hernach den Winkel x durch den Winkel y, so gibt der Quotient an, wie vielmal die zerstreuende Kraft des Flintglases größer ist, als die des Kronglases. Es sey z. B. $x = 3^0\ 5' = 185'$, $y = 1^0\ 34' = 94'$, so ist die zerstreuende Kraft des Flintglases $\frac{185}{94} = 1{,}968$ mal größer, als die des Kronglases. Man nennt diesen Quotienten das Zersteuungsverhältniß, doch ist die Bedeutung dieses Worts schwankend. Zum Behufe dioptrischer Rechnungen ist es hinreichend, das Zerstreuungsverhältniß, nicht die zerstreuenden Kräfte selbst zu wissen.

Ist das Prisma auf die den brechenden Winkel einschließenden Seitenflächen senkrecht abgeschliffen, so findet man den brechenden Winkel, wenn man es mit der Fläche, die die Flächen des brechenden Winkels senkrecht schneidet, auf ein ebenes Bret setzt, an die Flächen des brechenden Winkels ein Lineal genau anlegt und die Linien so lang als möglich auszieht, welche dann den brechenden Winkel unmittelbar angeben.

§. 73.

Das Prisma ist das geeignetste Werkzeug zur Ausmittelung der Brechungsverhältnisse einer jeden Farbe, aber die Versuche werden für Leser, für welche diese Anleitung geschrieben ist, zu schwer und müssen daher hier übergangen werden. Da aber die Ausmittelung der mittlern Brechungsverhältnisse und des Verhältnisses der zerstreuenden Kräfte bei Kron- und Flintglas zur Herstellung guter Fernröhre unumgäng-

lich nothwendig ist, so hat Prechtl ein zu diesem Zwecke dienliches Instrument erfunden, das wegen seiner Einfachheit von jedem Künstler leicht angefertigt und gehandhabt werden kann und hinreichende Genauigkeit gewährt. Ich trage daher kein Bedenken, die Einrichtung und den Gebrauch dieses Instruments, das Prechtl in seiner praktischen Dioptrik beschrieben hat, hier mitzutheilen.

Die Fig. 1, Taf. XXVI. stellt das Instrument in seiner horizontalen Lage vor, in welcher es zum Gebrauche dient.

ABCD ist ein völlig ebenes Bret aus vollkommen trocknem Lindenholze, damit kein Werfen mehr stattfinde. Auf dieses Bret ist der etwa $\frac{1}{10}$ Zoll dicke und 1 Zoll breite messingene Bogen AD aufgeschraubt, welcher von A bis o in 90 Grade getheilt ist. Das Stück o r, welches etwa 25° faßt, braucht nicht eingetheilt zu seyn.

In dem Mittelpunkte dieses Bogens c befindet sich ein stählerner, etwas konischer, genau runder Zapfen, welcher oben mit einer Schraube versehen und in Fig. 2 für sich abgebildet ist. Dieser Zapfen paßt genau in das Centralloch des Lineals cb, welches aus zwei Streifen starken Messingblechs besteht, welche senkrecht auf einander gelöthet sind, um das Biegen zu verhüten. Es kann übrigens auch aus einem einzigen hinreichend starken Messingstreifen bestehen. Das Ende dieses Lineals b ist mittels eines Ausschnitts mit einem Nonius versehen und an der Kante b ist senkrecht ein etwa 2 Zoll hoher Messingstreifen befestigt, auf welchem eine senkrecht auf der Fläche des Brets und genau über dem Nullpunkte des Nonius stehende Linie eingerissen ist. Ein ähnlicher gleich hoher Messingstreifen ist an der Stelle a an das Bret geschraubt, auf welchem ebenfalls eine senkrechte, genau über dem Nullpunkte der Theilung stehende Li-

nie eingerissen ist und in welchem in der nachher anzugebenden Höhe eine Diopteröffnung eingebohrt ist, so daß diese durch die gezogene Linie halbirt wird.

An eben dieses Bret ist das Holzstück F angesetzt, welches dicker ist und dessen mit der Fläche des Bretes parallele Fläche mit dem Ende s der Schraube Fig. 2 gleich hoch oder etwas höher liegt. Auf diesem Holzstück ist durch die beiden Bänder u u ein messingenes Rohr, 5 bis 6 Zoll lang, befestigt. Das eine Ende o dieses Rohrs ist mit einem Deckel versehen, in dessen Mitte sich ein kleines Loch befindet; das andere Ende m n hat einen Absatz, damit ein ebenes rundes Glas darein eingesetzt werden könne. Der Durchmesser dieser Röhre, also auch des Glases, ist 1 Zoll. Die Bänder u u lassen sich links und rechts etwas sammt dem Rohre verschieben, indem die Schrauben, welche sie festhalten, durch Ausschnitte (Schlitze) gehen. Vermittels dieser Schrauben sind die Bänder übrigens nur so fest angezogen, daß das Rohr sich, jedoch etwas streng, um seine Axe drehen läßt.

Das Glas, welches an der vordern Fassung m n, welche senkrecht auf die Axe des Rohrs eingedreht ist, eingesetzt wird, muß mit ebenen und parallelen Flächen versehen seyn. Der Mittelpunkt desselben ist mit einem feinen Punkte bezeichnet und durch diesen Punkt wird eine gerade Linie mittels einer stählernen Spitze gezogen, so daß diese ein Durchmesser des kreisförmigen Glases ist. Es ist nicht nöthig, daß dieses Glas in einer eigenen Fassung festgehalten werde, sondern man kann es in einen Absatz m n einlegen, so daß dessen vordere Fläche vor demselben noch ein wenig hervorsteht und es in dieser Stellung durch etwas eingelegtes Wachs befestigen.

Die senkrechte Hälfte des Diopters b wird mit einem in einer geraden Linie abgeschnittenen weißen

Papierstreifen bedeckt, dessen gerade Kante genau auf die in diesem Diopter eingerissene senkrechte Linie fällt; die andere Hälfte des Diopters bis an diesen Strich bedeckt man mit einer schwarzen Farbe.

Das feststehende Diopter a überzieht man an der dem Planglase entgegenstehenden Seite mit einem feinen weißen Papier, auf welchem eine schwarze gut begrenzte Linie gezogen ist. Diese Linie muß genau über die auf dem Messingstreifen gezogene senkrechte Linie des Diopters fallen, oder sie muß genau auf dem Nullpunkte der Theilung stehen und auf der Fläche des Bretes senkrecht seyn. Die Visiröffnung in diesem Diopter, welche in dieser Linie eingestochen wird, ist eben so weit von der Fläche des Bretes entfernt, als der Mittelpunkt des Planglases von demselben, so daß die Linie ao der Fläche des Bretes parallel ist. Durch diese Visiröffnung zieht man auf dem weißen Papier senkrecht auf die schwarze Linie eine schwarze Querlinie. Diese Visiröffnung befindet sich am obern Ende des Diopters.

Bei dem Instrumente, dessen sich Prechtl bedient hat, war die Länge der Regel cb, oder der Halbmesser des Bogens 18 Zoll. Jeder Grad war in 6 Theile getheilt, also von 10 zu 10 Minuten; 29 dieser Theile machten 30 Theile des Nonius, so daß die Ablesung der Winkel auf 20 Secunden ging.

Man könnte das Instrument noch dadurch vervollkommnen, wenn man in das Diopter a ein kleines Fernrohr einsetzte, um das Uebereinanderfallen der Bilder in dem Glase mn (wovon nachher die Rede ist) möglichst genau zu beobachten.

§. 74.

Um vermittels des vorigen Instruments das Brechungsvermögen eines Glases zu bestimmen, ist es vor allem nothwendig, aus demselben ein keilförmi-

ges Prisma herzustellen, dessen brechender Winkel beiläufig 30 Grade beträgt. Die passende Größe eines solchen Prismas ist $\frac{3}{10}$ Zoll Breite und $\frac{4}{10}$ bis $\frac{6}{10}$ Zoll Länge. Es ist also hierzu nur ein kleines Stückchen Glas erforderlich. Man verfährt nun damit auf folgende Weise.

1) Man befestigt zuerst das Prisma auf dem Planglase. Man nimmt zu diesem Behufe das Glas aus der Fassung m n des Rohrs, legt es auf das ebene Bret, legt das Prisma so auf dasselbe, daß die auf dem Planglase gezogene Linie p q hinter die Kante i o des brechenden Winkels des Prismas fällt, jener Kante jedoch so viel als möglich parallel wird, und befestigt das Prisma in dieser Stellung durch etwas Wachs, das man an jeder Seite des Prismas anlegt und dasselbe zugleich mit diesem mittels des Daumens und des Zeigefingers auf das Glas niederdrückt. Dadurch behält das Prisma seine Stellung und liegt mit der untern Seite fest auf dem Glase auf, dessen Biegung durch das ebene Bret verhindert wird. Das Planglas mit dem Prisma ist Figur 3 (Taf. XXVI.) vorgestellt. Man muß dafür Sorge tragen, daß das Prisma mit der untern Fläche überall genau an der Fläche des Glases anliege.

2) Man setzt nun das Glas mit dem Prisma in die Fassung des Rohrs m n ein, so daß die Linie p q eine senkrechte Lage hat und man schiebt nun das Rohr E so weit gegen den Zapfen c vorwärts, bis der Theil der vordern Fläche des Prismas, welcher auf der Linie p q auf dem Glase liegt, über dem Mittelpunkte des Zapfens c steht. Man visirt hierauf durch die Oeffnung o und richtet das Rohr E durch Drehen um seine Axe, oder durch eine geringe Bewegung seitwärts so lange, bis der auf dem Glase befindliche Strich die senkrechte schwarze Linie des Diopters a sowohl am untern, als am obern Theile

genau deckt und die schwarze Querlinie auf diesem Diopter, welche durch die Visiröffnung desselben geht, durch den Mittelpunkt des Glases läuft. Nunmehr versichert man sich, daß der Durchschnitt p q der vordern Fläche des Prismas genau über dem Mittelpunkte des Zapfens c liege, indem man die scharfe Kante einer messingenen Regel an der Stelle, wo die Linie p q dasselbe durchschneidet, anlegt, wonach der Endpunkt derselben auf den Mittelpunkt des Zapfens treffen muß. Ist dieses nicht der Fall, so wird durch geringes Vor- oder Rückwärtsschieben des Rohrs nachgeholfen. Hierauf visirt man neuerdings durch o, um sich zu versichern, daß die senkrechte Linie des Diopters noch durch den Strich auf dem Glase gedeckt wird.

3) Man visirt hierauf durch das Diopter a den Strich auf dem Glase; fällt dieser mit dem senkrechten Striche, deren Bild in dem Glase als in einem Spiegel erscheint, zusammen, so steht die Glasfläche senkrecht auf der Linie a o, wie es seyn soll. Ist dieses aber nicht der Fall, sondern der Strich auf dem Glase und das Bild des Diopterstrichs stehen parallel neben einander, so wird das Glas rechts oder links etwas niedergedrückt, so daß es sich um die Linie p q als um eine Axe dreht, bis die beiden Linien genau einander decken.

4) Man muß sich nun noch versichern, ob die Kante i o des Prismas (Fig. 3) der senkrechten Linie p q vollkommen parallel sey, weil eine Unrichtigkeit in dieser Stellung einen Fehler in der Bestimmung dieses brechenden Winkels hervorbringen würde. Dieses geschieht dadurch, daß man die Regel b c mit dem Diopter b über a hinaus bis nach r führt, während man durch die Oeffnung o visirt. Es erscheint nun vermöge der Brechung durch das Prisma das Bild dieses Diopters neben dem Diopter a, welche

man zugleich durch das Planglas sieht. Erscheint nun das Bild des Diopters b in gleicher Höhe mit dem Diopter a, so daß die obere Kante derselben eine fortlaufende gerade Linie bildet, so ist die Stellung des Prismas auf dem Glase richtig. Ist diese Höhe aber verschieden, so muß das Prisma auf dem Glase ein wenig nach der einen oder andern Seite verschoben werden, bis die Höhe der beiden Diopteru gleich wird.

Wenn es nöthig war, diese Correction vorzunehmen, so muß auch die vorhergehende wegen der richtigen Stellung des Glases wiederholt werden.

5) Das Instrument ist nun vorgerichtet, um den Winkel des auf dem Glase befestigten Prismas zu messen. Für diesen Fall muß das Prisma diejenige Lage haben, wie in Fig. 3, nämlich die Kante desselben muß gegen A gerichtet seyn.

Man visirt nämlich durch die Oeffnung des Diopters a, während man die Regel mit dem Diopter b so lange gegen A bewegt, bis man in dem Prisma die Kante des Papierstreifens in der Mitte des Diopters b (durch Reflexion von dessen vorderer Fläche) erblickt. Man stellt nun das Lineal durch geringes Vor- und Zurückschieben so, daß die Kante jenes Papierstreifens mit der Linie pq, welche das Bild der Diopterlinie a deckt, genau zusammenfällt. Man liest hierauf den Winkel ab, welchen der Nullpunkt des Nonius abschneidet. Die Hälfte dieses Winkels ist nämlich der brechende Winkel des Prismas.

Diese Beobachtungen werden mehrmals wiederholt und aus denselben das Mittel genommen. Um Fehler zu vermeiden, muß man bei denselben immer darauf sehen, daß die Linie auf dem Glase mit der senkrechten Linie auf dem Diopter a genau zusammenfällt und daß von der Visiröffnung a aus der senk-

rechte Strich auf dem Glase von dem reflectirten Striche des Diopters a genau bedeckt bleibe. Damit die reflectirten Bilder möglichst deutlich werden, müssen die beiden Dioptern dem Licht ausgesetzt, das Rohr E aber in den Schatten gestellt werden.

6) Nun sucht man den Unterschied zwischen dem Einfalls- und Brechungswinkel (den Winkel, um welchen der Strahl nach der Brechung von der ursprünglichen Richtung abweicht und den man oft den gebrochenen Winkel nennt), indem man das Rohr E um seine Axe dreht, bis das auf dem Glase befestigte Prisma die umgekehrte Lage erhalten hat, nämlich die Kante i o desselben nach B zu gerichtet ist. Man muß sich nun wieder versichern, a) daß der Strich auf dem Glase mit dem Strich auf dem Diopter a zusammenfällt, b) daß der Durchschnitt der vordern Fläche des Prismas von der Linie p q genau über dem Mittelpunkte des Zapfens stehe, c) und daß, von a aus visirt, der Strich auf dem Glase und der reflectirte Strich des Diopters a einander genau decken.

Hierauf visirt man durch die Oeffnung des Rohres o, während man das Lineal c b so lange gegen a bewegt, bis man das Diopter b vermittels der Brechung durch das Prisma erblickt. Man stellt nun das Lineal durch kleine Bewegungen so, daß die Kante des weißen Papiers, welche die senkrechte mittlere Linie dieses Diopters bezeichnet, genau auf die auf dem Planglase befindliche Linie fällt. Man liest nun den Winkel ab, welchen der Nullpunkt des Nonius abschneidet. Dieser Winkel ist der gebrochene oder Ablenkungswinkel, der oben beschrieben worden.

Auch diese Beobachtungen werden mehrmals wiederholt und aus denselben das Mittel genommen.

7) Da nunmehr der brechende Winkel des Prismas, welcher hier dem Einfallswinkel gleich ist und

der gebrochene Winkel gefunden sind, so erhält man auch den Brechungswinkel, wenn man die vorigen beiden addirt. Dividirt man nun den Sinus der Summe beider Winkel durch den Sinus des brechenden Winkels des Prismas, so erhält man das Brechungsverhältniß. Es sey nämlich der brechende Winkel des Prismas = m, der gebrochene Winkel = n, so ist das Brechungsverhältniß =

$$\frac{\sin (m + n)}{\sin m}.$$

Beispiel 1. Bei einem Prisma aus Flintglas wurde für das Doppelte des brechenden Winkels aus drei Beobachtungen folgendes gefunden:

$$59^0\ 40',\ 59^0\ 40',\ 59^0\ 40'.$$

Nachdem die Correctionen neuerdings vorgenommen worden, betrug der Winkel

$$59^0\ 41',\ 59^0\ 41',\ 59^0\ 40',\ 59^0\ 40'.$$

Nachdem die Adjustirung noch einmal verändert und vorgenommen worden war, war der Winkel

$$59^0\ 40'\ 22''.$$

Das Mittel aus allen diesen zehn Beobachtungen ist $59^0\ 40'\ 22''$ und folglich der brechende Winkel = $29^0\ 50'\ 11''$.

Der gebrochene Winkel wurde gefunden: $24^0\ 40'$, $24^0\ 41'$, $24^0\ 39'$, $24^0\ 38'$, $24^0\ 39'$, $24^0\ 41'$, $24^0\ 39'$, $24^0\ 41'$, woraus das Mittel $24^0\ 39'\ 45''$ beträgt.

Die Summe des brechenden und gebrochenen Winkels beträgt $54^0\ 29'\ 56''$, also ist das Brechungsverhältniß =

$$\frac{\sin 54^0\ 29'\ 56''}{\sin 29^0\ 50'\ 11''}.$$

Nimmt man zur Berechnung die Logarithmen zu Hilfe, so ist:

$\log \sin 54^\circ 29' 56'' = 9.9106800$
subtrah. $\log \sin 29^\circ 50' 11'' = 9.6968175$

Differenz $= 0.2138725 = \log 1.6363$
also das Brechungsverhältniß $= 1.6363$.

Beispiel 2. Bei einem Prisma aus Kronglas (Spiegelglas) gab das Instrument für den doppelten brechenden Winkel folgendes:

$61^\circ 10', 61^\circ 10', 61^\circ 10', 61^\circ 10'$

hieraus das Mittel $= 61^\circ 10'$
folglich der brechende Winkel $= 30^\circ 35' 0''$.

Der gebrochene Winkel wurde gefunden:

$20^\circ 32', 20^\circ 33', 20^\circ 32\frac{1}{2}', 20^\circ 32', 20^\circ 32'$,

also das Mittel $= 20^\circ 32' 18''$.

Es ist also das Brechungsverhältniß

$$= \frac{\sin(30^\circ 35' 0'' + 20^\circ 32' 18'')}{\sin 30^\circ 35' 0''} = \frac{\sin 51^\circ 7' 18''}{\sin 30^\circ 35' 0''}$$

$\log \sin 51^\circ 7' 18'' = 9.8912461$
$\log \sin 30^\circ 35' 0'' = 9.7065394$

Differenz $= 0.1847067 = \log 1.5300$
also das Brechungsverhältniß $= 1.530$.

Man kann auf diese Art das Brechungsverhältniß einer Glasart sehr genau bestimmen, wenn man die Beobachtungen vervielfältigt und die Einrichtung zu denselben einigemal umändert, nämlich das Prisma von dem Glase abnimmt, neuerdings auflegt u. s. w., wie dieses in dem vorigen Beispiele geschehen ist.

Prechtl gibt in seiner Dioptrik (Wien, 1828) auch die Gründe an, worauf der Bau dieses Instruments beruht.

§. 75.

Um vermittels dieses Instruments auch das Zerstreuungsverhältniß, d. h. den Quotienten zu finden, den man erhält, wenn man die zerstreuende Kraft des Kronglases mit der des Flintglases dividirt (§. 71),

verfertigt man sich zwei Prismen von Kron- und Flintglas mit solchen brechenden Winkeln, daß sie, nach §. 72 verbunden, die Gegenstände frei von farbigen Säumen erscheinen lassen. Hierzu ist nöthig, daß man den brechenden Winkel des einen oder andern Prismas so lange ändere, bis man seinen Zweck erreicht hat, was freilich etwas mühsam ist. Nachdem mißt man mittels des Instruments den brechenden Winkel eines jeden Prismas und wenn man dann den brechenden Winkel des Flintglasprismas durch den des Kronglasprismas dividirt, so erhält man das Zerstreuungsverhältniß, wie es bei den Herrschelschen Tafeln für achromatische Doppelobjective zu Grunde liegt.

Prechtl hat in dem angeführten Werk auch gezeigt, wie man das Zerstreuungsverhältniß mittels des Instruments auch für den Fall finden kann, daß beide Prismen, nach §. 72 an einander gelegt, nicht achromatisch sind, d. h. farblose Bilder geben. Hierbei werden die Flächen beider Prismen nicht hart auf einander gelegt, sondern so lange gegen einander geneigt, bis man die Gegenstände ohne farbige Ränder erblickt. Doch trage ich Bedenken, das Verfahren hier zu erklären, da mir die hierzu erforderliche Rechnung für meine Leser schon zu umständlich scheint.

Man kann sich zu demselben Zweck auch eines Doppelobjectivs bedienen, das durch Versuche so lange abgeändert worden ist, bis es achromatisch geworden. Dividirt man dann die Brennweite der Kronglaslinse durch die der Flintglaslinse, so hat man ebenfalls das eben genannte Zerstreuungsverhältniß. Doch ist es hierzu nicht ausreichend, die Brennweiten beider Linsen durch Versuche zu bestimmen, sondern man muß sie aus den bekannten Krümmungshalbmessern der Schleifschaalen und den mittels des obigen Instru-

ments bestimmten Brechungsverhältnissen berechnen, wozu in §. 79 die Anleitung gegeben ist.

Dieses Probeobjectiv bringt man nun in ein Rohr und betrachtet mittels eines stark vergrößernden Oculars (vergl. die Theorie des astronomischen Fernrohrs) weiße Linien auf dunklem Hintergrunde, z. B. die scharfen Kanten eines Rauchfangs auf dem dunklen Himmelsgrunde, und wenn die weiße Kante des Rauchfangs noch mit farbigen Rändern umgeben ist, so ändert man die Krümmung der einen oder andern Linse so lange, bis die prismatischen Farben verschwunden und nur noch die feinen purpurnen und grüngelben Ränder des secundären Spectrums übrig sind, in welchem Falle die größtmögliche Entfärbung vorhanden und das Objectiv achromatisch ist.

Man gibt den beiden Linsen des Doppelobjectivs vorerst die Krümmungen, welche sie in Gemäßheit des muthmaßlichen Zerstreuungsverhältnisses der beiden Glasarten, die man anwenden will, haben müssen, richtet aber die Spiegelglaslinse so her, daß ihre Brennweite etwas zu groß wird. Die Verbindung beider Linien kann dann nicht achromatisch seyn, aber man wird die Flintglaslinse so lange um einen geringen Abstand von der Kronglaslinse entfernen können, bis man an den Kanten des Rauchfangs keine Farben mehr erblickt. Nennt man dann die Brennweite der Kronglaslinse p, die der Flintglaslinse q, ihren Abstand d, so ist das Zerstreuungsverhältniß

$$\frac{(p-d)^2}{pq},$$

d. h. man subtrahirt den Abstand von der Brennweite der Kronglaslinse, multiplicirt die Differenz mit sich selbst und dividirt das Produkt durch das Produkt aus den Brennweiten beider Linsen.

Auf diese Weise wird man schon beim ersten Versuche das Zerstreuungsverhältniß mit leidlicher Ge-

nauigkeit finden, so daß, wenn man nachmals vermittels dieses Zerstreuungsverhältnisses die Brennweiten beider Linsen für den Fall bestimmt, daß sie hart an einander stehen, nur noch eine geringe Aenderung der Krümmungshalbmesser der einen oder der andern Linse nöthig seyn wird. Man thut hierbei wohl, wenn man nur einen Krümmungshalbmesser, etwa den vordern der Flintglaslinse ändert.

Fünftes Kapitel.

Von der Brechung durch Linsengläser.

---

§. 76.

Linsengläser sind nicht gar starke Glasplatten, denen man durch Schleifen eine kugelförmige Oberfläche gegeben hat. Sie sind entweder erhaben (convex) oder hohl (concav) und zwar biconvex oder convex-convex, wenn beide Seiten erhaben sind, wie bei der Linse A (Taf. V. Fig. 3), oder planconvex, wenn die eine Seite erhaben, die andere aber eben ist, wie bei der Linse B — Gleichermaasen heißt eine Linse concav-concav oder biconcav, wenn sie, wie C, auf beiden Seiten hohl ist und planconcav, wenn sie auf der einen Seite vertieft, auf der andern aber eben ist, wie D. Alsdann hat man noch Linsen, die, wie E, auf der einen Seite hohl, auf der andern vertieft sind und welche man Monde oder Menisken nennt, da man dieses Wort meist nur von solchen Linsen gebraucht, deren erhabene Seite stärker gekrümmt ist, als die hohle, wie dieses beim Monde kurz vor und nach dem

Neumonde der Fall ist. Endlich heißt ein Glas mit zwei parallelen ebenen Flächen, wie F, ein Planglas.

Oft drückt man durch die bloße Benennung die Stellung der Linse aus, je nachdem nämlich die eine oder die andere Seite dem Gegenstande, welchen man durch die Linse betrachtet, zugekehrt ist. So heißt z. B. ein Glas converplan, wenn die convexe Seite dem Gegenstande, die ebene aber dem Auge sich zuwendet, hingegen planconver im entgegengesetzten Fall. Auf gleiche Weise sind auch die Ausdrücke concavplan und planconcav, converconcav und concavconver zu deuten. — Ein Glas, welches auf beiden Seiten gleichviel erhaben oder gleichviel vertieft ist, d. h. wenn beide Mal die Halbmesser der Kugeln, nach deren Oberflächen die Seiten der Linse gekrümmt sind, einander gleich sind, nennen wir gleichseitig. — Ihrer optischen Natur nach nennt man auch alle biconvexen, planconvexen und converconcaven Linsen mit stärkerer erhabener Krümmung Sammelgläser, hingegen die biconcaven, planconcaven und converconcaven Linsen mit stärkerer hohler Krümmung Zerstreuungsgläser.

Man hat nur Linsengläser mit kugelförmigen Oberflächen, weil nur diese Krümmungen sich mit erforderlicher Genauigkeit hervorbringen lassen, obgleich nicht zu läugnen ist, daß anders als sphärisch gekrümmte Oberflächen weit besser dem Zweck entsprechen, den man mit Linsengläsern erreichen will.

Der Umfang einer Linse muß genau kreisrund abgedreht seyn.

Die Are einer Linse ist diejenige gerade Linie, welche die Mittelpunkte K und C (Taf. XVIII. Fig. 1) der Kugeloberflächen, welche das Glas begrenzen, verbindet. Sie durchschneidet die Oberflächen der Linse in den höchsten Punkten A und B und

wenn jeder dieser Punkte allenthalben von dem kreisrunden Rande gleichweit absteht, so heißt die Linse centrirt. Nur wenn die Linse genau centrirt ist, ist sie zu optischen Werkzeugen brauchbar, daher wir in den folgenden Betrachtungen keine andern, als centrirte Linsen voraussetzen. Die convex-convexe oder die planconvexe Linse ist richtig centrirt, wenn die Glasplatte so weit abgeschliffen wird, daß die beiden Oberflächen sich schneiden; denn dann bildet der Durchschnitt einen Kreis und die Axe geht gerade durch den Mittelpunkt des Kreises. Wenn aber die Oberflächen einander nicht schneiden, wie das z. B. bei biconcaven und planconcaven Linsen immer der Fall ist, so wird die Linse nur dann centrirt seyn, wenn ihr kreisrund abgedrehter Rand allenthalben gleiche Dicke hat.

Den Punkt in der Mitte einer genau centrirten Linse nennt man den **optischen Mittelpunkt**.

§. 77.

Von den Wirkungen der Sammelgläser.

Wenn man ein Sammelglas, z. B. ein Biconvexglas gegen die Sonne hält und hinter dasselbe in einer gewissen Entfernung ein Papier bringt, so wird man einen ungemein hellen kleinen Kreis bemerken, in welchem das Sonnenlicht ungemein zusammengedrängt ist. Man kann durch Entfernung des Papiers vom Glase oder durch Annäherung an dasselbe diesen Kreis größer und kleiner machen, aber man wird leicht einen solchen Abstand zwischen dem Glas und dem Papiere finden, bei welchem er am kleinsten und am lichtesten ist, indem dann die Sonnenstrahlen in den engsten Raum zusammengedrängt sind. Hat das Glas eine nicht zu kleine Oberfläche, so werden durch dasselbe so viele Lichtstrahlen in jenem Kreise zusam-

mengedrängt, daß sie heftige Hitze erregen und verbrennliche Körper entzünden. Diese Wirkung ist ganz der bei Hohlspiegeln analog und man hat daher auch Sammelgläser, in sofern ihr Zweck Entzündung durch die Sonnenstrahlen ist, Brenngläser, jenen kreisförmigen kleinsten Kreis aber, in welchem die Entzündung vor sich geht, Brennraum genannt. Da dieser Raum nur geringe Ausdehnung hat, so nennt man ihn auch wohl einen Punkt und redet dem gemäß von einem Brennpunkte der Sammelgläser, so wie auch von einer Brennweite derselben, welche nichts anderes ist, als diejenige Entfernung vom Glase, in welcher es am heftigsten zu zünden vermag. — Hieraus wird auch schon klar, warum man die oben beschriebenen Gläser Sammelgläser genannt hat, weil in der That das Phänomen des Entzündens im Brennraume nicht anders erklärt werden kann, als wenn man annimmt, daß die auf die Oberfläche des Glases zerstreut auffallenden Sonnenstrahlen in dem sehr engen Brennraume wieder vereinigt oder gesammelt werden.

Der Brennraum ist, wie der Brennraum der Hohlspiegel, nichts anderes, als ein Bild der Sonne, nur in verkehrter Lage, was man freilich nicht durch den Anblick bemerken kann, welches wir aber dann mit Bestimmtheit erfahren werden, wenn wir von der Art, wie Linsengläser Bilder machen, weitläuftiger werden gesprochen haben. Man wird auch bemerken, daß die Brennweite, ja selbst der Brennraum bei verschieden gekrümmten Linsen verschieden ist und es ist daher wichtig, zu untersuchen, wie die Lage jenes merkwürdigen Punktes durch die Krümmung des Glases bestimmt wird.

§. 78.

Es ist leicht, aus den gegebenen Krümmungen einer Glaslinse und dem Gesetze der Brechung den

Weg zu bestimmen, welchen ein Lichtstrahl nehmen muß, wenn er durch die Linse hindurchgeht. Wir wollen bei dem Beispiele der Sonnenstrahlen einstweilen stehen bleiben. Da ist denn klar, daß alle Strahlen, welche von demselben Punkte der Sonne auf die Oberfläche der Linse fallen, wegen der geringen Breite der Linse, im Vergleich zur Entfernung der Sonne, als parallel angesehen werden können. Es sey ZE (Taf. XVIII. Fig. 1) ein Sonnenstrahl, welcher aus einem Punkte der Sonne kommt, der in der verlängerten Axe KG liegt, so wird ZE mit KG parallel seyn. Zieht man nun nach dem Einfallspunkt E vom Mittelpunkte C der Kugelfläche NAM den Halbmesser CE, so ist derselbe in E senkrecht auf der genannten Kugelfläche und daher ZED der Einfallswinkel für den Strahl ZE in dem Punkte E. Wenn man also den Winkel CEG so nimmt, daß sein Sinus dem durch das Brechungsverhältniß des Glases dividirten Sinus des Winkels ZED gleich ist, so ist EG die Richtung des gebrochenen Strahls und dieser muß daher, wie man leicht sieht, mit der Axe in einem Punkte G zusammentreffen. Aber in dieser Richtung geht der in E zum erstenmal gebrochene Strahl nicht fort, denn indem er auf die Hinterfläche des Glases in dem Punkte I eintrifft, wird er zum zweitenmal gebrochen. Man ziehe nämlich aus dem Mittelpunkte K der Hinterfläche den Halbmesser KI, das Einfallsloth für den Punkt I, so ist HIG = EIK der Einfallswinkel, und da nun der Strahl aus Glas in Luft übergeht, so wird er vom Perpendikel KH weggebrochen. Seine Richtung IF findet man, wenn man den Winkel HIF so nimmt, daß sein Sinus dem mit dem Brechungsverhältniß des Glases multiplicirten Sinus des Winkels HIG gleich wird. Der mit der Axe parallel auf das Glas auffallende Strahl trifft also mit der Axe in F zusammen.

Sowohl die Zeichnung, als die Rechnung beweisen, daß alle Strahlen, welche mit der Axe parallel einfallen, wenn die Breite des Glases nicht allzu groß wird, sehr nahe in dem Punkte F zusammentreffen. Dieser Punkt ist daher sehr merkwürdig und wird vorzugsweise Brennpunkt genannt. Er ist nichts anderes, als ein Bild des in der verlängerten Axe liegenden Punkts der Sonne oder jedes andern sehr weit entlegenen Gegenstands, weil alle Strahlen, die von diesem Punkt ausgehen, sich wieder in F sammeln, wodurch, wie wir schon mehrmals gesehen haben, ein Bild formirt wird.

Diese Zeichnung gilt für eine auf beiden Seiten erhabene Linse, wird aber im Wesentlichen nicht viel anders, wenn die Linse planconvex oder convexconcav ist. Bei einer convexplanen Linse MN (Taf. XVIII. Fig. 2) bleibt an der Vorderfläche alles so, wie in Fig. 1, wenn aber der Strahl bei I an die Hinterfläche gelangt, so ist das Einfallsloth HI nichts anderes, als ein Perpendikel auf die Ebene MBN und daher mit der Axe parallel. Steht die ebene Seite dem Gegenstand entgegen, wie in Fig. 3, so geht der mit der Axe parallel einfallende Strahl ZE durch das Glas ungebrochen bis an die Hinterfläche hindurch, weil er auf der Vorderfläche senkrecht steht, also mit dem Einfallslothe zusammenfällt. Wenn er aber bei I an die Hinterfläche gelangt ist, so ist ZEK = HIG sein Einfallswinkel und nun bleibt die Zeichnung, wie in Fig. 1.

Wird das Glas von einer hohlen Fläche mit eingeschlossen, so ist die Zeichnung ebenfalls nach gleichen Gesetzen leicht auszuführen; die hohle Fläche bringt immer eine Brechung hervor, welche der Brechung durch eine convexe Fläche entgegengesetzt ist; während nämlich diese die Strahlen sammelt, zerstreut jene dieselben so, als ob sie von einem Punkte der Axe aus-

gingen. Dieses wird sich bestimmter ergeben, wenn wir von der Brechung der Zerstreuungsgläser reden.

Uebrigens geht ein Strahl, welcher mit der Axe **KF** (Fig. 1) zusammenfällt, ungebrochen durch die Linse hindurch, denn er fällt in **A** und **B** mit seinen Einfallslothen zusammen. — Endlich ist es für die Weite des Brennpunkts vom Glase gleichgültig, welche Seite man dem Gegenstande zukehrt, nur andere Rücksichten machen hierin einen bedeutenden Unterschied.

§. 79.

Die Brennweite einer gleichseitigen Convexlinse ist dem Halbmesser der Kugel gleich, von deren Oberfläche sie begrenzt wird, wenn das Brechungsverhältniß des Glases $\frac{3}{2}$, d. i. $1\frac{1}{2}$ ist. Ist das Glas planconvex, so ist bei demselben Brechungsverhältniß seine Brennweite dem Durchmesser der Kugel gleich, nach welcher es gekrümmt ist. Da das Brechungsverhältniß des gemeinen Glases nicht viel von $\frac{3}{2}$ unterschieden ist, so schätzt man im Groben die Brennweiten der genannten beiden Linsen oft nach der eben angeführten Regel.

Für diejenigen, welche mathematische Formeln lesen können, bemerken wir Folgendes. Ist **R** der Krümmungshalbmesser der einen, r der der andern Fläche der biconvexen Linse, n ihr Brechungsverhältniß, so wird ihre Brennweite p durch die Gleichung berechnet

$$p = \frac{R r}{(n-1)(R+r)}.$$

Die Dicke der Linse ist hierbei außer Acht gelassen, weil sie in der That nur einen geringen Einfluß auf die Brennweite ausübt, da sie im Vergleich zu dieser gewöhnlich sehr gering ist.

Ist $n = \frac{3}{2}$, so ist

$$p = \frac{2Rr}{R + r}.$$

Dieses gibt z. B. für $R = 6$ Fuß und $r = 3$ Fuß, $p = 4$ Fuß.

Ist die Linse gleichseitig, so ist ihre Brennweite, da dann $R = r$:

$$p = \frac{R}{2(n-1)},$$

welches für $n = \frac{3}{2}$ übergeht in

$$p = R.$$

Ist endlich die Linse planconvex, so ist ihre Brennweite

$$p = \frac{R}{n - 1}$$

oder für $n = \frac{3}{2}$:

$$p = 2R.$$

Wenn die Linse auf einer Seite erhaben, auf der andern hohl, die convexe Krümmung aber stärker ist, als die concave, so bleibt, wie schon bemerkt worden, das Glas immer noch ein Sammelglas. Seine Brennweite berechnet man, wenn R den Halbmesser der erhabenen, r den der hohlen Krümmung bedeutet, nach der Formel

$$p = \frac{Rr}{(n-1)(r-R)}$$

oder wenn $n = \frac{3}{2}$:

$$p = \frac{2Rr}{r - R}.$$

§. 80.

Wenn man ein Sammelglas, am besten von einer nicht gar zu kurzen Brennweite, in das seiner Größe angemessene Loch eines verfinsterten Zimmers einsetzt und dahinter, ungefähr in der Gegend des

Brennpunkts, einen mit weißem Papier überzogenen Schirm stellt, so werden sich auf diesem die außer dem Zimmer befindlichen, genugsam entlegenen Gegenstände mit ungemeiner Deutlichkeit und Lebhaftigkeit verkehrt und verkleinert abmalen. Man kann leicht durch Verrücken des Schirms den Ort hinter dem Glase finden, wo sich das Bild eines Gegenstands am deutlichsten abmalt und zwar wird man bemerken, daß die Bilder derjenigen Objecte, welche sehr weit entfernt sind, dann sich deutlich abmalen, wenn der Schirm im Brennpunkte des Sammelglases steht. Je näher aber ein Gegenstand ist, desto weiter muß man den Schirm vom Glase abrücken, wenn das Bild deutlich erscheinen soll, und bei ganz nahen Gegenständen wird vielleicht der Raum des Zimmers nicht mehr gestatten, den Schirm so weit vom Glase abzurücken, daß das Bild die erforderliche Deutlichkeit bekommt.

Man kann sich die Art und Weise, wie Bilder durch Sammelgläser hervorgebracht werden, recht bequem in der Nacht durch eine Lichtflamme erläutern, und hierzu bedient man sich am besten eines Glases von nur kurzer Brennweite, die etwa 4 Zoll betragen mag. Rückt man nun in einem etwas großen Zimmer das Licht vom Glase so weit als möglich ab und hält hinter das letztere ein Papier, so wird man auf demselben in der Gegend des Brennpunkts ein deutliches umgekehrtes und verkleinertes Bild bemerken. Dieses Bild vergrößert sich immer mehr und mehr, je näher man das Glas an das Licht bringt, aber man muß auch zugleich das Papier weiter vom Glase abrücken, wenn das Bild die höchste Deutlichkeit erlangen soll. Beträgt die Entfernung des Lichts vom Glase gerade 8 Zoll (die doppelte Brennweite), so ist die Entfernung des Bilds vom Glase eben so groß und in dieser Weite muß man also das Papier

aufstellen; dabei erscheint das Bild der Flamme mit ihr selbst unter gleicher Größe. Rückt man das Glas noch näher an das Licht, so muß man das Papier in viel größerm Maase vom Glas abrücken, um ein deutliches Bild zu haben, aber dieses ist nun auch viel größer, als die Flamme selbst und wird immer noch größer und sein Abstand vom Glase ebenfalls größer, je näher man noch das Glas an das Licht anrückt. Dabei bleibt das Bild immer verkehrt. Bringt man endlich das Licht in den Brennpunkt des Glases, so wird gar kein Bild mehr entstehen, sondern nur ein lichter Kreis, ungefähr so groß, als das Glas, und bei noch größerer Annäherung des Glases an das Licht scheinen die Strahlen nach dem Durchgange durch die Linse sogar zu divergiren und divergiren wirklich, wie wir bald sehen werden.

§. 81.

Das erste, was wir aus diesen Vorgängen zu schließen genöthigt sind, ist das, daß nicht nur diejenigen Strahlen, welche auf das Glas mit der Axe parallel einfallen, wieder mit der Axe zusammenfahren, sondern auch die, welche wegen der Nähe des Objects ziemlich divergiren. Es sey z. B. in (Tafel XVIII. Fig. 1) X ein in der verlängerten Axe liegender Punkt eines leuchtenden Objects und XE ein von X auf das Glas fallender Strahl. Macht man für den Strahl XE dieselbe Zeichnung, wie für den Parallelstrahl ZE, so wird sich ergeben, daß er gleichfalls nach seinem Austritt aus dem Glase die Axe trifft, aber in einem vom Glas entfernteren Punkte F′, als der Vereinigungspunkt F für den Strahl ZE. Auch werden alle Strahlen, welche von X auf das Glas fallen, sehr nahe wieder in F′ zusammengebracht, so daß hier ein Bild des Punktes X entsteht. Je näher aber X an das Glas rückt, desto weiter

rückt F′ davon ab und man kann sogar den Punkt X so nahe ans Glas bringen, daß sein Bild in jede beliebige Entfernung hinausfällt.

Wie weit das Bild von dem Glase entfernt liegt, hängt also von der Entfernung XA des Objects vom Glase ab, außerdem aber auch von der Brennweite des Glases. *Um die Bildesweite in jedem Falle zu finden, multiplicirt man die Entfernung des Objects vom Glase mit der Brennweite und dividirt das Product durch die Differenz dieser beiden Größen.*

Es sey z. B. die Brennweite eines Glases = 2 Zoll, die Entfernung des Objects = 5 Zoll, so ist die Weite des Bildes dadurch zu berechnen, daß man 2 mit 5 multiplicirt und das Product 10 durch den Unterschied von 2 und 5, d. i. durch 3 dividirt. Sie ist also = $3\frac{1}{3}$ Zoll.

Es sey ferner die Brennweite einer Linse = 6 Linien, die Entfernung des Bilds = $6\frac{1}{2}$ Linien, so geben diese beiden Zahlen mit einander multiplicirt 39, welches mit ihrem Unterschiede, d. i. mit $\frac{1}{2}$ zu dividiren ist, so daß die Bildesweite 76 Linien = 6 Zoll wird.

Diese Rechnung gilt jedoch nur so lange, als die Entfernung des Objects vom Glase größer ist, als dessen Brennweite. Rückt das Object in den Brennpunkt oder noch näher, so entsteht kein Bild mehr.

Nennt man die Entfernung des Objects vom Glase a, die Brennweite p und die Bildesweite B, so ist

$$B = \frac{ap}{a - p},$$

in welcher Formel die obige Rechnung enthalten ist.

§. 82.

So lange also ein Gegenstand weiter vom Glase absteht, als dessen Brennweite, fahren alle Strahlen,

die aus einem in der verlängerten Axe liegenden Punkte kommen, wieder mit der Axe in einem Punkte zusammen. Dieses gilt aber auch von denjenigen Puncten des Objects, welche nicht in der Axe liegen, daher von jedem Punkte hinter dem Glase ein deutliches Bild erzeugt wird und der Inbegriff aller dieser Bilder zusammen macht das Gesammtbild des ganzen Gegenstands aus. Die Bilder aller einzelnen Punkte müssen in einer Ebene liegen, denn sonst könnte nicht, wie die Erfahrung lehrt, im finstern Zimmer auf der ebenen Fläche des Papiers ein deutliches Bild des ganzen Gegenstands entstehen.

Daß aber das Bild die umgekehrte Lage hat, geht so zu. Es sey (Taf. XVIII. Fig. 4) MN ein biconvexes Sammelglas und XF seine Axe, Xf aber ein Gegenstand, welcher auf der Axe senkrecht steht. Der in der Axe liegende Punkt X sendet einen Strahlenkegel auf das Glas, welches die zerstreuten Strahlen in F wieder sammelt und dort ein Bild des Punktes X verursacht. Gleichergestalt sendet auch der Punkt f einen Strahlenkegel (den mit punktirten Linien angedeuteten) auf das Glas, welches diese Strahlen ebenfalls wieder sammelt. Wo dieses geschieht, ergibt sich aus Folgendem. Unter den Strahlen, welche von f ausgehen, ist einer, welcher durch den Mittelpunkt V der Linse geht und dieser wird so gut wie gar nicht gebrochen; also muß auf der Linie fVf' das Bild des Punktes f liegen und hieraus folgt unmittelbar, daß das Bild des Gegenstands Xf die umgekehrte Lage haben muß. Errichtet man nun in F auf der Axe Xf einen Perpendikel Ff' und bemerkt den Durchschnitt f' desselben mit der genugsam verlängerten fV, so ist in f' das Bild des Punkts f.

Nunmehr läßt sich auch beurtheilen, wie sich das Bild zu seinem Gegenstande der Größe nach verhalte. Aus der Mitte V der Linse gesehen erscheinen beide

unter gleichem Sehwinkel und es muß daher das Bild kleiner seyn, als der Gegenstand, wenn die Vereinigungsweite VF (die wir von nun an immer von der Mitte der Linse ausrechnen wollen) kleiner ist, als die Entfernung VX des Objects. Wird aber für einen Gegenstand die Bildesweite größer, als seine Entfernung vom Glase, so wird auch sein Bild größer, als er selbst. Da nämlich die Dreiecke XVf und VFf' sich ähnlich sind, so verhalten sich die wahren Größen von Bild und Gegenstande wie ihre Entfernungen von der Mitte des Glases. Wenn z. B. die Bildesweite nur halb so groß ist, als die Entfernung des Objects, so ist auch das Bild nur halb so groß, als das Object; ist aber der Abstand des Bildes doppelt so groß, als der des Objects, so ist auch das Bild doppelt so groß, als das Object.

Ist die wahre Größe des Objects h, seine Entfernung von der Mitte des Glases = a und seine Bildesweite B, so ist die Größe des Bildes

$$\frac{B}{a}h,$$

oder wenn man B durch die Brennweite p des Glases und durch a ausdrückt:

$$\frac{p\,h}{a-p}.$$

Es sey z. B. p = 6 Linien, a = $6\frac{1}{4}$ Linien, so ist a — p = $\frac{1}{4}$ Linien und $\frac{p\,h}{a-p} = 24\,h$. Das Bild ist also 24mal größer, als das Object. Macht man aber bei derselben Brennweite a = $6\frac{1}{10}$ Linien, so wäre die Größe des Bildes schon 60 h, das Bild also 60mal vergrößert.

Bei sehr weit entlegenen Gegenständen, wie z. B. bei denen, die man durchs Fernrohr betrachtet, drückt

man die Größe des Bildes durch den Sehwinkel XVf aus, unter dem das Object aus dem Mittelpunkte des Glases erscheint, da man die wahre Größe und Entfernung des Objects in der Regel nicht kennt. Nennt man also den Sehwinkel $fVX = FVf' = O$, so ist $f'F = VF \tan O = B.\text{tg}\,O$, oder da dergleichen Sehwinkel nur klein sind und sich wie ihre Tangenten verhalten:

$$\text{Größe des Bildes} = B.O,$$

wo O in Theilen des Halbmessers auszudrücken ist. Ist der Gegenstand unendlich weit, so verwandelt sich die Bildesweite B in die Brennweite p, und man hat:

$$\text{Größe des Bildes} = p.O.$$

Die Sonne erscheint z. B. unter einem Winkel von 32 Minuten, welcher in Theilen des Halbmessers ausgedrückt nahe $= \frac{1}{108}$ ist; daher hat man die Größe des Sonnenbildes $\frac{p}{108}$, d. h. der **Durchmesser des Sonnenbildes, welches ein Brennglas hervorbringt, beträgt den 108ten Theil der Brennweite desselben,** gerade so wie bei Hohlspiegeln.

§. 83.

Betrachtet man einen Gegenstand durch ein Sammelglas, der in der Brennweite desselben liegt, so sieht man ihn aufrecht und deutlich, und wenn die Linse nur eine kurze Brennweite hat, sehr vergrößert. Es ist nämlich klar, daß ein Strahl, der aus dem Brennpunkte F (Taf. XVIII. Fig. 1) einer Linse ausgeht, denselben Weg in umgekehrter Richtung machen muß, wie ein Strahl ZE, welcher mit der Axe parallel einfällt und in den Brennpunkt F gelangt. Daher werden alle Strahlen, die aus dem Brenn-

punkt einer Linse kommen, nach dem Durchgange durch dieselbe mit der Axe und folglich auch unter sich parallel; und so wie sich Strahlen, die zwar unter sich, aber nicht mit der Axe parallel sind, nach ihrer Brechung dennoch in einem Punkte hinter dem Glase sammeln, eben so werden Strahlen, welche von diesem Punkt ausgehen, nachdem sie durch das Glas gegangen, zwar nicht mit der Axe, aber doch unter sich parallel. Ein Auge also muß, wenn es durch Parallelstrahlen deutlich zu sehen vermag, durch das Glas den in dessen Brennpunkte liegenden Gegenstand deutlich erkennen. Daß man aber den Gegenstand aufrecht sieht, geht so zu:

Es sey MN (Taf. XVIII. Fig. 5) eine Linse und in ihrem Brennpunkte befinde sich ein auf der Axe senkrecht stehendes Object Ff, in O ein Auge. Der von f durch die Mitte des Glases gehende Strahl fV wird nicht gebrochen, aber die von f ausfahrenden Strahlen werden in der Richtung so verändert, daß sie mit fV parallel austreten. Hierbei kann aber, wie man leicht sieht, keine Umkehrung des Bildes stattfinden.

Wo nun auch das Auge stehen mag, so empfängt es doch immer die von f und F kommenden Strahlen unter einem Winkel x, welcher eben so groß ist, als der Winkel fVF und daher erscheint der Gegenstand so, als ob er aus der Mitte des Glases betrachtet würde. Hierin beruht die Vergrößerung durch Linsen von kurzen Brennweiten. Das bloße Auge kann nämlich, wie wir gesehen haben, einen Gegenstand nur etwa in einer Entfernung von 8 Zollen deutlich erkennen, mit Hilfe der Linse kann es ihn aber bis auf die Entfernung VF nahe bringen und in dem Maas, als die Brennweite VF kleiner ist, als die Weite des deutlichen Sehens, 8 Zoll, in dem Maase wird der Sehwinkel des Gegenstands vergrö-

ßert. Um daher die vergrößernde Kraft einer Linse zu erfahren, dividire man mit ihrer Brennweite in 8 Zoll, so gibt der Quotient die Vergrößerungen. Man vergesse dabei nicht, die Brennweite von der Mitte des Glases aus zu rechnen.

Es sey z. B. die Brennweite einer Linse = 2 Zoll, so vergrößert sie die Gegenstände 4mal. Ist die Brennweite aber $\frac{1}{4}$ Zoll, so wird eine 32malige Vergrößerung hervorgebracht.

§. 84.

Wenn ein Gegenstand X (Taf. XVIII. Fig. 6) zwischen einem Sammelglas und seinem Brennpunkte F sich befindet, so fahren die Strahlen XI, XA, welche von X divergirend auf das Glas fallen, auch noch nach ihrem Durchgange durch die Linse aus einander, aber nicht mehr so stark, sondern vielmehr so, als kämen sie von einem Punkte X', welcher weiter vom Glase entfernt ist, als X, so daß der ausfahrende Strahl die Richtung IE hat. Ein Auge wird also, wenn es durch solche divergirende Strahlen deutlich zu sehen vermag, den Gegenstand in X' erblicken, obgleich eigentlich von dorther gar keine Strahlen kommen, also auch kein Bild des Gegenstandes X dort befindlich ist. Dieses letztere ist für das Auge ein sehr gleichgültiger Umstand, wie wir schon bei der Betrachtung des Convexspiegels bemerkt haben. Man sagt daher auch, in X' sey ein Scheinbild des Gegenstandes X, im Gegensatze zu den wahren Bildern, welche wirklich vorhanden sind und sich auf der Fläche eines weißen Papiers auffangen lassen.

Man kann die Entfernung AX', aus welcher die von X ausfahrenden Strahlen nach ihrer Brechung durch die Linse herzukommen scheinen, berechnen.

Nennt man nämlich die Entfernung XA des Objects vom Glase a, die Brennweite der Linse p, so ist

$$AX' = \frac{a\,p}{p - a}.$$

Es sey z. B. $p = 4$ Zoll, $AX = a = 3$ Zoll, so ist $AX' = \frac{3 \cdot 4}{4 - 3} = 12$ Zoll. Der Punkt X', von dem die gebrochenen Strahlen herzukommen scheinen, liegt also dann 12 Zoll vom Glase entfernt.

In dieser scheinbaren Abrückung des Gegenstandes vom Glase liegt zugleich auch der Grund, warum derselbe etwas vergrößert zu seyn scheint, auch dann, wenn die Entfernung AX der Weite des deutlichen Sehens gleich oder noch größer, als dieselbe ist. Es könnte nämlich in diesem Falle wohl gar keine Vergrößerung stattfinden, da man mit bloßen Augen den Gegenstand unter demselben Winkel erblickt, als durch das Glas, aber da derselbe scheinbar weiter weggerückt wird, ohne daß sein Sehwinkel sich ändert, so erscheint er auch zugleich vergrößert. Diese Vergrößerung ist also nur eine Täuschung.

§. 85.

Endlich haben wir noch den Fall zu betrachten, wo die Strahlen, wie EI in Fig. 6, Taf. XVIII. convergent auf das Glas fallen, die Verlängerung von EI also die Axe AX' in einem Punkte X' hinter dem Glase schneiden würde. In diesem Falle convergiren die Strahlen nach ihrem Durchgange durch das Glas nur noch mehr und fahren mit der Axe in einem Punkte X zusammen, welcher immer näher am Glase liegt, als der Brennpunkt F. So entsteht auch in X ein wahres Bild des Gegenstandes, von welchem die convergirenden Strahlen, die auf irgend eine Weise aus dem Zustande der Divergenz in den jetzigen gebracht worden sind, ausgegangen.

Will man hier die Vereinigungsweite berechnen, so muß man die Entfernung AX' des Punktes kennen, nach welchem die auf das Glas fallenden Strahlen ihre Richtung hinnehmen, oder in welchem der verlängerte Strahl EI die Axe schneidet. Ist AX' = a, die Brennweite des Glases wiederum = p, so ist

$$AX = \frac{a\,p}{a + p}.$$

Wäre z. B. AX' = 4 Zoll, die Brennweite des Glases ebenfalls 4 Zoll, so wäre $AX = \frac{4 \cdot 4}{4+4} = \frac{16}{8} = 2$ Zoll.

Hiermit sind nun die sämmtlichen Fälle erörtert, welche bei Brechungen durch ein einziges Sammelglas vorkommen können.

§. 86.

Von den Wirkungen der Zerstreuungsgläser.

Wenn man ein Zerstreuungsglas, z. B. ein biconcaves, gegen die Sonne hält und hinter ihm die hindurchgegangenen Strahlen mit einem weißen Papier auffängt, so wird man nicht, wie bei Sammelgläsern, ein Bild der Sonne erhalten, sondern es wird vielmehr den Anschein haben, als ob die Sonnenstrahlen nach ihrem Durchgange durch die Linse immer weiter aus einander führen. So wird man auch mittels des Zerstreuungsglases im verfinsterten Zimmer keine Bilder erhalten können. Betrachtet man aber durch das Glas die gegenüberliegenden Gegenstände, so scheinen sie verkleinert und näher.

Ein Glas von der genannten Art zerstreut auch in der That die Strahlen, sie mögen parallel auf die Vorderfläche auffallen, oder schon vor dem Durch-

gange durch die Linse divergiren. Es sey (Taf. XIX. Fig. 1) MN ein Glas mit zwei hohlen Flächen und GK seine Axe, so geht fürs erste ein Strahl GA, der in der Axe selbst liegt, wie bei Sammelgläsern, ungebrochen durch die Linse hindurch. Es sey ferner ZE ein Strahl, der mit der Axe parallel auffällt, so ist, wenn man aus dem Mittelpunkte C der Vorderfläche nach dem Einfallspunkte E einen Halbmesser CE zieht, ZEC der Einfallswinkel des Strahls ZE in dem Punkte E. Dieser Strahl wird nun nach dem Perpendikel CE zugebrochen und seine Richtung EI findet man, wenn man den Winkel ZEG so nimmt, daß sein Sinus dem durch das Brechungsverhältniß dividirten Sinus des Winkels ZEC gleich wird. In dieser Richtung gelangt er bis an die Hinterfläche bei I und wenn man aus dem Mittelpunkte K dieser Fläche den Halbmesser KI zieht, so hat man ebenfalls den Einfallswinkel GIH. Nun wird der Strahl, weil er aus Glas in Luft geht, vom Perpendikel KH weggebrochen und seine Richtung FID findet man, wenn man den Winkel FIH so nimmt, daß sein Sinus dem mit dem Brechungsverhältniß des Glases multiplicirten Sinus des Winkels GIH gleich wird. Nach dem Austritt aus dem Glase hat daher der Strahl die Richtung ID so, als käme er von dem in der Axe liegenden Punkte F. Auf gleiche Weise hat jeder Strahl, der mit der Axe parallel auffällt, nachdem er durch das Glas gebrochen worden, eine Richtung, als ob er aus F käme und hieraus sieht man, daß die gebrochenen Strahlen, je weiter sie fortgehen, desto weiter aus einander fahren, oder zerstreut werden.

Man nennt daher den Punkt F, von welchem aus die Strahlen nach ihrem Durchgange durch die Linse herzukommen scheinen, den Zerstreuungspunkt und seine Entfernung CA vom Glase die

Zerstreuungsweite. Oft bedient man sich auch derselben Ausdrücke, wie bei Sammelgläsern und redet von Brennpunkten, Brennweiten, Vereinigungsweiten der Zerstreuungsgläser. Brennpunkte sind aber hier nur eingebildet und bedeuten nichts weiter, als die eben beschriebenen Zerstreuungspunkte.

Die Brennweite eines Zerstreuungsglases ist dessen Zerstreuungsweite für den Fall, daß die Strahlen auf die Linse parallel auffallen, oder von einem Gegenstande herkommen, dessen Entfernung im Vergleiche zur Zerstreuungsweite ungeheuer groß ist. Es ist hierbei und überall gleichgültig, welche Seite des Glases man dem Gegenstande zukehrt.

Bei einer gleichseitigen Concavlinse ist die Brennweite dem Krümmungshalbmesser beider Flächen gleich, wenn das Brechungsverhältniß $= \frac{3}{2}$ ist. Bei demselben Brechungsverhältniß ist die Brennweite einer planconcaven Linse dem Durchmesser der Kugelfläche gleich, nach deren Oberfläche die hohle Seite des Glases geschliffen worden. — Der Brennpunkt, oder vielmehr der Zerstreuungspunkt, ist, wie aus dem Vorigen hervorgeht, auf der Seite zu suchen, woher die Strahlen kommen.

Ueberhaupt werden die Brennweiten der Zerstreuungsgläser eben so berechnet, wie die der Sammelgläser, wenn man nur in den Formeln des §. 79 statt der converen Krümmungshalbmesser sich hohle und statt der hohlen sich convexe denkt. Also ist z. B. die Zerstreuungsweite für ein Glas mit einer hohlen und mit einer schwächer gekrümmten converen Fläche, $= \frac{R\,r}{(n-1)(r-R)}$, wenn r den Krümmungshalbmesser der converen, R den der concaven Fläche bedeutet.

§. 87.

Strahlen, welche divergirend, z. B. von dem in der Axe liegenden Punkte X aus (Taf. XIX. Fig. 2) auf eine Zerstreuungslinie MN fallen, divergiren nach ihrem Durchgange durch das Glas noch mehr, so als ob sie von einem Punkte F herkämen, welcher immer zwischen dem Object und dem Glase liegt, wie man sich durch eine nach gleichen Gesetzen, wie Figur 1, ausgeführte Zeichnung leicht überzeugen kann. Daher scheint es dem durch das Glas hindurchsehenden Auge, als befände sich in F ein Bild des Punktes F. Auf gleiche Weise werden auch die Strahlen, welche von einem nicht in der Axe liegenden Punkte f des auf der Axe senkrecht stehenden Objectes XF herkommen, so gebrochen, als kämen sie alle von demselben Punkte f′, daher man in f′ ein Bild des Punktes f sieht.

Den Punkt f′ findet man, wenn man durch die Mitte des Glases V und durch f eine gerade Linie zieht, in F auf der Axe eine Senkrechte errichtet und ihren Durchschnitt f′ mit der Vf bemerkt. Der Strahl fV nämlich, der durch die Mitte der Linse geht, wird nur sehr wenig gebrochen, so daß man ohne merklichen Fehler annehmen darf, er gehe ungebrochen durch die Linse hindurch. So machen auch alle Punkte des Objects Xf ihre Bilder auf Ff′ und es ist daher Ff′ das Gesammtbild von Xf′. Da aber dieses Bild nicht wirklich ist, so nennt man es ein **Scheinbild**.

Betrachtet man Bild und Gegenstand aus der Mitte V des Glases, so werden beide unter gleichem Winkel XVf = FVf′ gesehen. Aber unter demselben Winkel erblickt das Auge das durch diese Linse erzeugte Scheinbild, es mag stehen, wo es will. Steht es z. B. in o, so macht der Strahl ao, der von f kommt, mit dem Strahle bo den Winkel aob

und dieser ist gerade so groß, als der Winkel X V f. Also sieht man den Gegenstand mit bloßem Auge unter eben dem Winkel, als sein Scheinbild mittels des Glases und daher scheint es wunderbar, warum ein Zerstreuungsglas die Gegenstände verkleinert. Diese Verkleinerung ist in der That auch nur eine Täuschung, indem sich hier unser Urtheil über die wahre Größe des Dinges nicht nach dem Sehwinkel richtet. Das Bild F f' ist nämlich viel kleiner, als der Gegenstand X f und daher rührt die Verkleinerung.

Man kann die Zerstreuungsweite aus der Entfernung a des Objects vom Glase und der (eingebildeten) Brennweite p desselben berechnen. Man hat nämlich zu diesem Behufe die Formel

$$\frac{ap}{a+p},$$

d. h. **man findet die Zerstreuungsweite, wenn man die Entfernung des Objects vom Glase mit der Brennweite multiplicirt und das Product durch die Summe dieser Größen dividirt.**

Es sey z. B. die Entfernung des Objectes = 12, die Brennweite = 8 Zoll, so ist die Zerstreuungsweite $\frac{12 \times 8}{12+8} = \frac{96}{20} = 4\frac{4}{5}$ Zoll.

Scheinbild F f' und Gegenstand X f verhalten sich ihrer wahren Größe nach, wie ihre Entfernungen V F und V X von der Mitte des Glases. Ist daher die Zerstreuungsweite = B, die Entfernung des Objectes, wie vorher = a, die Größe des Objects X f = h, so ist

$$\text{wahre Größe des Bildes} = \frac{Bh}{a},$$

oder wenn man den Sehwinkel X V f = O setzt,

$$\text{wahre Größe des Bildes} = B \cdot O,$$

wo O in Theilen des Halbmessers auszudrücken ist.

§. 88.

Es ist nun noch zu untersuchen, wie Lichtstrahlen gebrochen werden, welche convergirend auf ein Zerstreuungsglas fallen. Es müssen hier aber drei Fälle unterschieden werden:

1) Wenn die Strahlen, wie z. B. ZE, in Figur 3, Taf. XIX. so auf das Glas MN fallen, als gingen sie nach einem gemeinschaftlichen Punkte X der Axe, welcher zwischen dem Glas und dem Brennpunkte F (Zerstreuungspunkte für Parallelstrahlen) liegt. In diesem Falle wird die Convergenz der Strahlen durch das Zerstreuungsglas vermindert und sie vereinigen sich in dem Punkte G, welcher immer weiter vom Glase weg ist, als F. Der Vereinigungspunkt G ist daher ein wirklicher und es muß in ihm ein wahres Bild von demjenigen Punkt entstehen, von dem die auf irgend eine Art convergirend gemachten Strahlen ausgegangen sind. Es ist hier der umgekehrte Fall des vorigen §, dort gingen nämlich die Strahlen von einem Punkte G der Axe aus und wurden so gebrochen, daß sie bei ihrem Durchgange durch die Linse von dem Punkte X zu kommen schienen; hier scheinen sie anfangs nach X zu gehen, gehen aber nach dem Austritt aus dem Glase wirklich nach F.

2) Wenn convergirende Strahlen so auf das Glas fallen, daß sie, wie ZE in Fig. 4, Taf. XIX., nach dem Brennpunkte der Linse zu laufen, so haben sie nach dem Austritt aus derselben die Richtung IG, welche mit der Axe AF parallel ist. So wie nämlich Strahlen, welche parallel auf ein Zerstreuungsglas fallen, nach ihrem Austritt aus demselben so zerstreut werden, als kämen sie aus dem Brennpunkte F, eben so werden Strahlen, welche so auf das Glas fallen, daß sie sämmtlich nach dem Brennpunkte F

zu laufen, nachdem sie aus dem Glase herausgetreten sind, mit der Axe parallel.

3) Wenn endlich Strahlen, wie **ZE** in Fig. 5, Taf. **XIX**. so auf das Glas fallen, daß sie nach dem Punkte **X** der Axe zulaufen, welcher weiter hinter dem Glase liegt, als dessen Brennpunkt **F**, so werden sie beim Austritt aus der Linse zerstreut, als kämen sie von dem Punkte **G** auf derselben Seite des Glases, auf welcher die Strahlen auffallen. Der Strahl **ZE** hat also nach der Brechung die Richtung **ID**. Der Vereinigungspunkt **G** ist daher in diesem Falle wieder ein Zerstreuungspunkt.

Diese Verhältnisse lassen sich sämmtlich durch eine und dieselbe Formel berechnen. Ist nämlich die Entfernung des Punktes vom Glase, auf welchen die Strahlen beim Eintritt in die Linse zuzulaufen scheinen, wie **BX**, **BF**, **BX** in der Fig. 3, 4 und 5 = a, die Brennweite des Glases = p, so ist die Vereinigungsweite =

$$\frac{ap}{p-a}.$$

Diese bleibt wirklich, so lange p > ist als a, welches der in Nr. 1 erläuterte Fall ist. Wenn a = p wird, so ist p — a = o und der Werth der Vereinigungsweite wird eine unendlich große Zahl, welches so viel sagen will, als daß der austretende gebrochene Strahl mit der Axe parallel ist. Wenn endlich p < als a, so wird der Nenner p — a negativ und die Vereinigungsweite auch negativ, welches eben so viel sagt, als daß nun der Vereinigungspunkt auf der entgegengesetzten Seite liegt und ein Zerstreuungspunkt geworden ist.

§. 89.

Zum Schlusse dieser Betrachtungen bemerke ich noch für Leser von ausgebildeteren mathematischen

Kenntnissen, daß in einer Formel alle bei Linsengläsern vorkommenden Brechungen begriffen sind. Ist nämlich die Brennweite eines Sammelglases p, die Entfernung eines strahlenden Punktes = a, so ist die Vereinigungsweite, welche hinter dem Glase liegt, auf der vom Object weggekehrten Seite,

$$\frac{a\,p}{a - p}.$$

Ist nun hier zunächst $a > p$, so behält der Vereinigungspunkt die eben angedeutete Lage; die Vereinigungsweite wird um so größer, je kleiner $a - p$ wird und unendlich groß, d. h. der gebrochene Strahl mit der Axe parallel, wenn $a - p = o$, also $a = p$ ist. Ist aber $a < p$, so wird die Vereinigungsweite negativ, d. h. der Vereinigungspunkt fällt auf die entgegengesetzte Seite und ist nun ein Zerstreuungspunkt.

Für convergirende Strahlen fällt a auf die entgegengesetzte Seite und ist negativ zu setzen. Schreibt man also — a statt a, so ist die Vereinigungsweite

$$\frac{a\,p}{a + p}.$$

Bei Hohlgläsern wird aber p negativ, daher die ursprüngliche Formel $\frac{a\,p}{a - p}$ übergeht in $\frac{- a\,p}{a + p}$. Die Vereinigungsweite fällt also nun, da sie negativ ist, auf die entgegengesetzte Seite, d. h. nicht mehr hinter, sondern vor das Glas und der Vereinigungspunkt ist daher ein Zerstreuungspunkt. Setzt man in dieser letzten Formel — a statt a, wo dann die Strahlen convergirend auf das Glas fallen, so erhält man $\frac{a\,p}{p - a}$, welches die schon angeführte Formel ist.

§. 90.

Brechung durch zwei Sammelgläser.

Es seyen zwei Sammelgläser V und W (Taf. XX. Fig. 1) auf ihrer gemeinschaftlichen Axe VF senkrecht aufgestellt. Man fragt, wie ein Strahl ZE gebrochen werde, wenn er durch beide Linsen hindurch geht.

Wir wollen der Einfachheit halber annehmen, daß der Strahl ZE vor der Brechung durch die erste Linse V mit der Axe parallel sey. Dann wissen wir, daß er, nachdem er aus der ersten Linse bei I herausgetreten ist, die Richtung EF hat, welche gerade durch den Brennpunkt F der ersten Linse geht. Bevor er aber nach F gelangt ist, wird er durch die zweite Linse W aufgefangen und von derselben noch stärker nach der Axe hin gebrochen. Hier tritt nämlich der Fall des §. 85 ein, wo ein Strahl IE′ in einer nach der Axe zu convergirenden Richtung auf eine Linse fällt, und darum wird er in einem Punkte F′ mit der Axe vereinigt, welcher noch näher an dem Glase W liegt, als dessen Brennpunkt. So lange also die Entfernung VW beider Linsen kleiner ist, als die Brennweite VF der ersten Linse, wirkt eine solche Verbindung als ein einziges Sammelglas von einer viel kürzeren Brennweite, als die einer jeden Linse ist.

Wenn beide Linsen gleiche Brennweite haben, so ist es natürlich gleichgültig, welche von beiden Linsen voransteht; sind aber die Brennweiten verschieden, so bleibt die Stellung nur für den Fall gleichgültig, wenn beide Linsen hart an einander liegen und ihre Dicke gegen ihre Brennweiten in keinen Betracht kommt, in welchem letztern Fall auch die Convergenz der Strahlen nach dem Austritt aus der zweiten Linse am stärksten ist, indem dann der Winkel I′F′W, welchen der gebrochene Strahl mit der Axe macht, am

größten ist. Haben beide Linsen gleiche Brennweite und liegen sie hart an einander, so wirken sie gerade wie ein Sammelglas, dessen Brennweite nur halb so groß ist.

Nur durch die Rechnung wird es möglich, alle die hier vorkommenden Fälle genauer kennen zu lernen. Es sey darum die Entfernung eines Objects von der ersten Linse = a, die Brennweite dieser Linse = p, die Brennweite der zweiten Linse = p', der Abstand beider = d. Die Weite VF, in welcher die vom genannten Object ausgehenden Strahlen mit der Axe vereinigt werden würden, findet man aus der Formel:

$$VF = b = \frac{ap}{a - p}$$

und dann hat man die Weite WF des Punktes F, hinter welchem die auf das Glas W fallenden Strahlen zusammenlaufen würden, wenn sie keine Brechung erlitten, = b — d, daher die Vereinigungsweite nach der Brechung durch das zweite Glas, oder

$$WF' = b' = \frac{p'(b - d)}{(b - d) + p'}.$$

Wenn die Strahlen auf das erste Glas parallel auffallen, so ist VF = b die Brennweite dieses Glases und dann ist b — d so viel als p — d, daher auch

$$WF' = b' = \frac{p'(p - d)}{p' + (p - d)}.$$

Es sey z. B. die Brennweite des ersten Glases p = 10 Zoll, die des zweiten p' = 6 Zoll, der Abstand beider Gläser d = 3 Zoll, so ist in dem Falle, daß die Strahlen parallel auf das Vorderglas auffallen, VF = der Brennweite dieses Glases = 10 Zoll und daher WF = 10 — 3 = 7 Zoll. Daher denn $WF' = b' = \frac{7 \cdot 6}{7 + 6} = \frac{42}{13} = 3\frac{3}{13}$

Zoll. Wird jetzt, ohne die Entfernung beider Linsen zu ändern, das hintere Glas vor gebracht, so ist VF = der Brennweite dieses Glases $= p' = 6$ Zoll und daher $WF = 6 - 3 = 3$ Zoll. Folglich $WF' = \frac{3 \cdot 10}{3 + 10} = \frac{30}{13} = 2\frac{4}{13}$ Zoll. Daher geben beide Stellungen einen Unterschied von $3\frac{3}{13} - 2\frac{4}{13} = \frac{12}{13}$ Zoll, also beinahe 1 Zoll.

Liegen die Gläser hart an einander, so ist ihre Entfernung $d = o$, also werden Strahlen, die auf das Vorderglas parallel auffallen, in der Entfernung

$$b' = \frac{pp'}{p + p'}$$

hinter dem zweiten Glase mit einander vereinigt und hierbei kommt es, wie man leicht sieht, nicht auf die Stellung der Gläser an.

Es sey z. B. wieder $p = 10$ Zoll, $p' = 6$ Zoll, so findet sich die Vereinigungsweite von Parallelstrahlen, die durch dieses System gebrochen werden, $b' = \frac{10 \cdot 6}{10 + 6} = \frac{60}{16} = \frac{15}{4} = 3\frac{3}{4}$ Zoll. Beide Gläser wirken also wie ein einziges Sammelglas von $3\frac{3}{4}$ Zoll Brennweite.

Sind endlich die Brennweiten beider Gläser gleich, ist also $p' = p$, so findet sich, daß die Formel $b' = \frac{pp'}{p + p'}$ übergeht in

$$b' = \tfrac{1}{2} p,$$

nämlich beide Gläser wirken, wie ein einziges von halb so großer Brennweite.

Es ließen sich noch manche Betrachtungen über die Brechung durch zwei Sammelgläser anstellen, in den Fällen nämlich, wo die Brennweite des einen Glases zwischen beide Gläser fällt. Doch ist es am besten, diese Erörterungen bis dahin zu verschieben,

wo die Instrumente beschrieben werden, bei denen solche Stellungen der Gläser vorkommen.

§. 91.

Es ist nun noch die Größe des Bildes zu untersuchen, welches durch eine Verbindung von Gläsern, wie die im vorigen § hervorgebracht wird. Zur Erörterung dieser Frage diene zunächst folgende Zeichnung in Taf. XX. Fig. 2. Gesetzt, das erste Glas bei V entwerfe von dem auf der Axe senkrecht stehenden Gegenstand AB ein Bild ab, so findet man die Größe dieses Bildes, wenn man in dem Vereinigungspunkt a der aus A kommenden Strahlen ein Perpendikel ab errichtet und dasselbe durch die Linie BV abschneidet, welche durch den äußersten Endpunkt B des Objects und durch den Mittelpunkt V der Linse gezogen wird. Dieses Bild kommt aber nicht zur Wirklichkeit, weil die Strahlen noch vorher von der Linse W aufgefangen werden und dadurch das Bild nach a'b' zurückgezogen wird. Um nun die Größe des wahren Bildes a'b' zu finden, errichtet man in a', dem Vereinigungspunkte der aus A kommenden und durch beide Linsen hindurchgegangenen Strahlen, auf der Axe ein Perpendikel a'b', zieht durch b und den Mittelpunkt W der zweiten Linse die Linie Wb, so ist ihr Durchschnitt b' mit dem Perpendikel a'b' das Bild von B, also a'b' das Gesammtbild von AB. Die Linie bW ist nichts weiter, als der Strahl BEWb, der von B aus auf die erste Linse fällt und von dieser gerade nach dem Mittelpunkte W der zweite zugebrochen wird, so daß er ungebrochen durch diese Linse hindurch geht.

Um hierfür die Rechnung aufzustellen, setzen wir die Entfernung AV des Objectes von dem ersten Glase = a, die Vereinigungsweite Va nach der Bre-

chung durch dieses Glas = b und die Höhe des Objects AB = h, so ist

$$(ab) = h' = \frac{b}{a} h \text{ (§. 82)},$$

wobei wir den Winkel AVB nur klein voraussetzen. Die Vereinigungsweite b wird aber nach §. 81 berechnet.

Ist nun ferner der Abstand der Gläser VW = d, so ist Wa = b — d. Ferner sey die Vereinigungsweite Wa' nach der zweiten Brechung = b', so hat man die Größe des Bildes a'b', die wir mit h'' bezeichnen wollen, in der Formel:

$$h'' = \frac{b'h'}{b-d}.$$

Denn es verhält sich in den ähnlichen Dreiecken aWb und a'Wb', Wa : Wa' = ab : a'b', d. h. b—d : b' = h' : h'', woraus h'' nach der Regel-de-tri sogleich folgt.

Man hat also, um die Größe des Bildes zu finden, folgende Rechnung zu machen:

1) Man berechnet die Vereinigungsweite Va = b nach der Brechung durch das erste Glas mittels der Formel:

$$b = \frac{ap}{a-p},$$

wo p die Brennweite dieses Glases bezeichnet, a und b aber die eben genannten Bedeutungen haben.

2) Dann findet man die Größe des nicht zur Wirklichkeit kommenden Bildes ab, durch die Formel:

$$h' = \frac{bh}{a}.$$

3) Man berechnet die Vereinigungsweiten Wa' nach der Brechung durch das zweite Glas mittels der Formel:

$b' = \frac{p'(b-d)}{p'+(b-d)}$, wo p' die Brennweite dieses Glases bedeutet.

4) Endlich die Größe h'' des wahren Bildes durch
$$h'' = \frac{b'\,h'}{b-d}.$$

Es sey z. B. $AV = a = 4\frac{1}{6}$ Zoll, $p = 4$ Zoll, so findet sich $b = \frac{4 \cdot 4\frac{1}{6}}{4\frac{1}{6}-4} = 16\frac{2}{3} : \frac{1}{6} = 100$ Zoll und hieraus $h' = \frac{100\,h}{4\frac{1}{6}} = 24\,h$. Das nicht zur Wirklichkeit kommende Bild ab wäre also 24 mal größer, als das Object AB. Nun sey $VW = d = 2$ Zoll, $p' = 2$ Zoll, so ist $Wa' = b' = \frac{2\cdot(100-2)}{2+100-2} = \frac{2\cdot 98}{100} = 1\frac{96}{100} = 1\frac{24}{25}$ Zoll. Daher endlich $h'' = \frac{1\frac{24}{25}\cdot h'}{100-2} = \frac{49}{25\times 98}h' = \frac{49\times 24}{25\times 98}h$ $\times \frac{12}{25}h$, also das Bild etwas kleiner, als halb so groß, als das Object AB.

Wenn die Strahlen parallel auf das erste Glas auffallen, so wird $b = p$ und das Ganze zieht sich, wenn der Winkel BVA, unter welchem das nun unendlich weit entfernte Object aus der Mitte des ersten Glases gesehen wird, $= O$ gesetzt wird, in die Formel zusammen:

$$\text{Größe des Bildes} = h'' = \frac{p\,p'\,O}{p+p'-d},$$

wo O in Theilen des Halbmessers auszudrücken ist.

§. 92.

Brechung durch ein Sammelglas mit einem damit verbundenen Zerstreuungsglase.

Es können hier zwei Fälle vorkommen, in denen die Concavlinse einmal vorangesetzt werden kann, wie

in Taf. XX. Fig. 3. Hier bricht zuerst die Concavlinse den mit der Axe parallel einfallenden Strahl ZE so, daß er beim Austritt aus dem Glase die Richtung hat, als käme er aus dem Zerstreuungspunkte G dieser Linse. Auf gleiche Weise verhält sichs, wenn die Strahlen divergirend auf die Concavlinse fallen. Das Sammelglas W empfängt also divergirende Strahlen, welche aus G zu kommen scheinen und es kommt nun auf die Lage des Punktes G oder vielmehr auf dessen Entfernung vom Sammelglase W an, wie die Strahlen weiter gebrochen werden. Fällt z. B. der Brennpunkt dieses Glases auch gerade in G, so werden die Strahlen parallel aus ihm austreten; liegt G aber näher an dem Glase W, als sein Brennpunkt, so werden die austretenden Strahlen divergiren, als kämen sie aus einem noch weiter entfernten Punkte, als G. Hier wirkt also die Verbindung beider Gläser als ein Zerstreuungsglas, dessen Brennweite aber größer ist, als die Brennweite des Glases V. — Fällt aber endlich G über den Brennpunkt der Linse W hinaus, so daß GW größer ist, als die Brennweite dieses Glases, so werden die Strahlen nach ihrem Austritt aus der Linse W convergiren und sich mit der Axe in einem Punkte F vereinigen, so daß die Verbindung als Sammelglas wirkt. Es ist aber dann WF immer größer, als die Brennweite des Glases W (§. 81), so daß durch Vorsetzung des Zerstreuungsglases V die Brennweite des Glases W vergrößert und daher das Bild weiter entfernt wird. Dieses letztere Verhältniß kommt besonders bei der Anwendung von Zerstreuungsgläsern zu Brillen in Frage.

Verlangen wir hier die Vereinigungsweite durch Rechnung zu finden, so setze man die Entfernung des strahlenden Punktes vom Hohlglase = a, dessen Brennweite = p, so ist

$$GV = b = \frac{ap}{a+p}$$

alsdann $GW = a + d$,
wenn man die Entfernung VW beider Linsen $= d$ setzt.

Ferner setze man die Brennweite des Glases $W = p'$, so ist die letzte Vereinigungsweite

$$WF = \frac{p'(b+d)}{b+d-p'}.$$

In dem Falle, wo $b + d < p'$, also der Nenner $b + d - p'$ negativ wird, gehen die Strahlen divergirend aus dem Sammelglase und WF wird eine Zerstreuungsweite, die auf der entgegengesetzten Seite des Glases, also in gegenwärtiger Zeichnung links zu suchen ist, da die ursprüngliche (positive) Richtung WF rechts liegt.

Läßt man die Strahlen parallel auf das Hohlglas fallen, so wird GV, d. i. b der Brennweite p dieses Glases gleich, und wenn dann beide Gläser in unmittelbarer Berührung stehen, also $VW = d = o$ ist, so findet man die Brennweite des ganzen Systems

$$\frac{pp'}{p-p'}.$$

Es sey z. B. die Brennweite p des Zerstreuungsglases $= 36$ Zoll, die des Sammelglases, oder $p' = 24$ Zoll, so ist die Brennweite der vereinigten Linsen $\frac{36 \cdot 24}{36-24} = 72$ Zoll. Die Verbindung wirkt daher wie ein Sammelglas von 72 Zoll Brennweite und es ist daraus einleuchtend, wie man sehr lange Brennweiten hervorbringen kann, bloß durch Verbindung einer Concav- und Convexlinse von weit kürzern Brennweiten.

Wenn aber p < als p′, nämlich wenn das Hohlglas eine kürzere Brennweite hat, als das Sammelglas, so wirkt die Verbindung als Zerstreuungsglas. Es sey z. B. p = 24 Zoll, p′ = 36 Zoll, so erhält man die Vereinigungsweite der Zusammenstellung $\frac{36 \cdot 24}{24-36}$, welches wiederum 72 Zoll gibt, welche aber wegen des negativen Nenners 24 — 36 = — 12, ebenfalls negativ sind. Dieß deutet eben an, daß hier der Vereinigungspunkt nicht wie im vorigen Beispiele hinter die Convexlinse, sondern vor dieselbe fällt, also ein Zerstreuungspunkt ist. Diese Verbindung wirkt also wie ein einziges Hohlglas von 72 Zoll Brennweite.

§. 93.

Häufiger ist noch der Fall, wo, wie z. B. bei den Objectivgläsern achromatischer Fernröhre die convexe Linse V vorn steht und hinter ihr die concave W aufgestellt ist (Taf. XX. Fig. 4). Hier bricht das Sammelglas V den mit der Axe parallel auffallenden Strahl nach dem Brennpunkte G, aber ehe er dahin gelangt, wird er von dem Zerstreuungsglase W aufgefangen und von Neuem gebrochen. Hier kommt alles auf die Entfernung des Punktes G von der Linse W an und man wird in verschiedenen Fällen mittels des in §. 88 Gesagten die Richtung des austretenden Strahls leicht beurtheilen können. Fällt G gerade in den Zerstreuungspunkt der Linse W, so wird der bei I austretende Strahl mit der Axe parallel; fällt aber G noch über den Zerstreuungspunkt der Linse W hinaus, so divergiren die Strahlen nach dem Austritt aus dem zweiten Glase und die Verbindung wirkt daher als Zerstreuungsglas. Wenn endlich G zwischen die Linse W und ihren Zerstreuungspunkt zu liegen kommt, so convergiren die Strahlen

auch noch nach dem Durchgange durch das Zerstreuungsglas, nur nicht mehr so stark, als vor dem Eintritt in dasselbe und der Brennpunkt G des Glases V wird nach F hinausgerückt.

Wir können diesem wiederum genau mit der Rechnung folgen. Ist nämlich die Entfernung des Objects von der Linse V = a, deren Brennweite p, so ist die Vereinigungsweite

$$VG = b = \frac{a\,p}{a - p}.$$

Ist ferner der Abstand beider Linsen VW = d, so ist WG = b — d und aus dieser Größe und der Brennweite p′ der Linse W muß man die Vereinigungsweite WF berechnen. Es ist nämlich:

$$WF = b' = \frac{p'(b - d)}{p' - b + d}.$$

Wenn das leuchtende Object sehr weit vom Glase V entfernt ist, so wird WG = b = p und daher

$$WF = b' = \frac{p'(p - d)}{p' - p + d}.$$

Es sey z. B. die Brennweite p des Sammelglases = 24 Zoll, die des Hohlglases p′ = 36 Zoll, der Abstand beider Linsen d = 12 Zoll, so ist WF $= \frac{36 \cdot (24 - 12)}{36 - 24 + 12} = \frac{36 \cdot 12}{24} = 18$ Zoll und daher auch der Abstand des Vereinigungspunktes G vom Glase V = VW + WF = 12 + 18 = 30 Zoll.

Sollen die Linsen sich unmittelbar berühren, so muß d = o gesetzt werden und dann hat man die Vereinigungsweite =

$$\frac{p\,p'}{p' - p},$$

eben so wie in §. 92, nur daß dort die Bezeichnungen p und p′ für die Brennweiten beider Gläser wechseln, indem die Brennweite des Sammelglases dort

mit p', hier mit p bezeichnet ist. Daher ist es in dem Falle, wenn die beiden Linsen sich berühren, gleichgültig, welche von beiden voransteht. Je nachdem die Brennweite des Sammelglases kleiner oder größer ist, als die des Zerstreuungsglases, wirkt die Verbindung als Sammel= oder als Zerstreuungsglas.

§. 94.

Um nun die Größe des Bildes zu bestimmen, welches durch das Linsensystem des vorigen §. (Tafel XX. Fig. 4) hervorgebracht wird, ziehen wir durch den äußersten Endpunkt y des auf der Axe senkrecht stehenden Objects x y und durch den Mittelpunkt V der Sammellinse die Linie V A, errichten in dem Vereinigungspunkte G das Perpendikel G A, so ist G A das durch die Sammellinse erzeugte Bild, das aber nicht zur Wirklichkeit kommt. Nun zieht man durch den Mittelpunkt W des Hohlglases und durch a die Linie W a, errichtet in dem Vereinigungspunkte F des ganzen Gläsersystems auf der Axe das Perpendikel F a, so ist F a die Größe des Bildes, welches durch die vereinte Wirkung beider Linsen erzeugt wird. Die Linie W A a ist nichts anderes, als der Strahl, der von der Vorderlinse so gebrochen wird, daß er gerade durch die Mitte W der zweiten Linse geht.

Der Abstand des Bildes vom ersten Glas ist = V F. Für ein einziges Sammelglas V, dessen Brennweite V F wäre, würde die Größe des Bildes nur = F a' seyn, während es bei gegenwärtiger Verbindung der Gläser = F a ist. Hieraus ist einleuchtend, daß auf solche Weise ein größeres Bild erzeugt wird, als durch ein Sammelglas von eben der Brennweite, als der Abstand des Bildes F a von der ersten Linse V beträgt.

Dieses können wir mit der Rechnung so verfolgen. Behalten alle Buchstaben des vorigen §. auch

hier ihre Bedeutung bei und ist die wahre Größe des Gegenstands = h, so ist

$$GA = h' = \frac{bh}{a},$$

$$\text{und } FA = \frac{b'h'}{b-d}.$$

Wird die Entfernung des Gegenstands unendlich groß, also VG = b = p und nennen wir den Sehwinkel des Objects von da aus, wo unser Gläsersystem aufgestellt ist, O, so wird die Größe des Bildes

$$FA = \frac{pp' \cdot O}{p'-p+d}.$$

In dem Beispiele des vorigen §. war p = 24 Zoll, p' = 36 Zoll, d = 12 Zoll, also folgt FA $= \frac{24 \cdot 36 \cdot O}{36-24+12} = 36 \cdot O$. Die Entfernung dieses Bildes vom ersten Glase betrug aber 30 Zoll, daher ein Glas von dieser Brennweite ein Bild 30·O hervorbringen würde (§. 82), so daß also das durch das Gläsersystem erzeugte Bild um 6·O größer ist. Sollte ein einzelnes Glas ein eben so großes Bild erzeugen, so müßte seine Brennweite 36 Zoll seyn.

§. 95.

Bestimmung des Brechungsverhältnisses durch Linsen.

Man verfertigt sich zu diesem Behuf eine Planconvexlinse von nicht allzu kurzer Brennweite. Da das Brechungsverhältniß des Glases ungefähr $\frac{3}{2}$ ist, so bestimmt sich im Voraus schon näherungsweise die Brennweite der Linse, wenn der Krümmungshalbmesser der convexen Fläche bekannt ist; denn man weiß aus §. 79, daß die Brennweite das Doppelte dieses Halbmessers beträgt. Es sey z. B. der Krümmungshalbmesser genau = 8 Zoll, so wird die

Brennweite der Planconvexlinse ungefähr 16 Zoll betragen.

Nun mißt man die Brennweite dieser Linse, indem man sich zu diesem Behuf eine einfache Vorrichtung herstellt, die ungefähr in Folgendem besteht. Man hobelt ein Stückchen Holz (Taf. XXI. Fig. 1) dünn und vierkantig ab, doch nicht so schwach, daß es sich leicht biegt und befestigt an dem einen Ende vermittels einer leicht zu erdenkenden Vorrichtung das zu untersuchende Glas A so, daß es gegen die Latte senkrecht steht. Außerdem bringt man noch das Stück B an, welches sich auf der Latte hin und her schieben läßt und zwar nicht zu leicht und auch nicht zu gedränge. Dieses Stück kann etwa die Form C haben, mit dem Loche d, mittels dessen es sich auf der Latte hin und her schieben läßt. Seine gegen das Glas A gekehrte Fläche ist eben und muß auf der Latte genau senkrecht stehen; auch kann sie mit einem weißen Papier überzogen seyn.

Nun hält man das Glas gegen die Sonne und schiebt das Stück B so lange hin und her, bis man auf der gegen das Glas gekehrten Fläche ein reines und deutliches Bild der Sonne erhalten hat. Dann ist der Abstand dieses Bildes von der Hinterfläche des Glases dessen Brennweite, die man genau messen muß. Hierbei thut man am besten, wenn man die ebene Fläche der Linse gegen die Sonne kehrt, indem dann die Dicke des Glases auf die Entfernung des Sonnenbilds von seiner Hinterfläche gar keinen Einfluß ausübt. Nur muß man die Oeffnung der Linse dann gering nehmen, damit nicht die Abweichung wegen der Kugelgestalt, welche, wie wir später sehen werden, bei dieser Stellung sehr groß ist, einen merklichen Einfluß auf das Bild ausübe. Man kann bei 16 Zoll Brennweite der Linse ihre Oeffnung etwa = ½ Zoll nehmen.

Nunmehr kann man das Brechungsverhältniß des Glases berechnen, indem man den Halbmesser der converen Fläche durch die Brennweite dividirt und zum Quotienten 1 addirt.

Diese Regel folgt leicht aus §. 79, denn dort war für ein Planconverglas die Brennweite $p = \frac{R}{(n-1)}$, woraus

$$n = 1 + \frac{R}{p}$$ hervorgeht.

Es sey z. B. der Krümmungshalbmesser der converen Fläche = 8 Zoll = 96 Linien und ihre Brennweite = 184,7 Linien gefunden worden. Dividirt man also den Halbmesser mit der Brennweite, so erhält man zum Quotienten 0,5197, daher, wenn man 1 addirt, das Brechungsverhältniß = 1,5197.

Auf diese Weise läßt sich das mittlere Brechungsverhältniß des Glases, woraus die Linse besteht, mit großer Genauigkeit finden.

Es sey wiederum der Krümmungshalbmesser = 96 Linien, die Brennweite = 154,8 Linien, so ist der Quotient, den man erhält, wenn man die erste Zahl durch die letztere dividirt, = 0•6201, daher das Brechungsverhältniß = 1,6201.

Man kann auch den Versuch mit umgekehrter Stellung der Linse wiederholen, indem man die convere Seite gegen die Sonne kehrt, wobei man aber ihre Dicke mit in Rechnung bringen muß. Es geschieht dieses mit hinlänglicher Genauigkeit, wenn man zu der nach obiger Vorschrift gefundenen Brennweite noch $\frac{2}{3}$ der Dicke der Linse in ihrer Mitte hinzusetzt.

Will man den Versuch mit einer gleichseitigen Converlinse anstellen, so dividirt man den Krümmungshalbmesser R durch die doppelte Brennweite p

und addirt 1 zum Quotienten, so hat man ebenfalls das Brechungsverhältniß n, nämlich

$$n = 1 + \frac{R}{2p}.$$

Den Einfluß der Dicke der Linse kann man mit hinreichender Genauigkeit dadurch beseitigen, daß man ihren 6ten Theil zu der nach obiger Vorschrift gemessenen Brennweite addirt.

Das eben beschriebene Verfahren, die Brennweite eines Sammelglases zu finden, gewährt bei mäßigen Brennweiten alle erforderliche Genauigkeit. Bei Linsen von großen Brennweiten wird man mit Vortheil folgendes Verfahren anwenden können, wobei vorausgesetzt wird, daß man ein gutes dioptrisches Fernrohr habe. Dieses richtet man nach einem sehr weit entfernten Gegenstande, z. B. nach dem Monde und zieht es so weit aus, bis man den Mond recht deutlich erkennt. In dieser Stellung wird das Fernrohr festgehalten, daß sich nämlich die Röhren nicht wieder verschieben. Nun bringt man die zu untersuchende Linse vor das Object des Fernrohrs, so daß es mit diesem die Axe gemein hat und auf ihr senkrecht steht. Endlich lasse man in der schon nahe bekannten Brennweite der zu untersuchenden Linse ein Buch mit kleiner Schrift aufstellen und dasselbe so lange von dem Fernrobr ab- oder an dasselbe anrücken, bis man die Schrift am deutlichsten erkennen kann. Dann ist die Entfernung des Buchs von der zu untersuchenden Linse der Brennweite derselben gleich. — Das Objectivglas des Fernrohrs nämlich empfängt vom Monde Parallelstrahlen und ist so weit aus einander gezogen, daß deutliches Sehen stattfindet. Da aber auch bei unveränderter Länge des Fernrohrs das Buch deutlich gesehen wird, so muß von ihm das Objectivglas ebenfalls Parallelstrahlen em-

pfangen und es müssen daher die vom Buch ausgegangenen und durch die vor dem Objectiv aufgestellte Linse gebrochenen Strahlen unter sich parallel geworden seyn, welches nur möglich ist, wenn das Buch im Brennpunkte dieser Linse steht.

Ungefähr kann man die Brennweite eines Sammelglases bestimmen, wenn man durch dasselbe eine Kerzenflamme betrachtet und dann so weit mit dem in der Hand gehaltenen Glase von der Flamme sich entfernt, bis diese zu verschwinden anfängt und man einen auf die ganze Fläche des Glases verbreiteten Lichtschein bemerkt. Die Entfernung der Flamme vom Glase ist dann die ungefähre Brennweite. Das Auge muß dabei etwas weit vom Glase abstehen.

§. 96.

Weit schwieriger ist es, die Brennweite eines Hohlglases zu finden, da ein solches kein Bild macht. Zu diesem Behufe muß man ein Sammelglas von kleinerer und bekannter Brennweite mit dem Zerstreuungsglase verbinden, welche Verbindung, wie wir wissen, als ein Sammelglas von größerer Brennweite wirkt. Nun mißt man die Brennweite der Doppellinse gerade so, wie wir in §. 95 nachgewiesen haben und leitet hieraus die Brennweite der Hohllinse durch folgende Rechnung her.

Man multiplicirt die Brennweite der Doppellinse mit der des Sammelglases und dividirt das Product durch den Unterschied dieser beiden Größen.

Es sey z. B. die Brennweite des mit dem Hohlglase verbundenen Sammelglases = 8 Zoll, die Brennweite der Doppellinse = 20 Zoll, so folgt die Brennweite der Hohllinse $= \frac{8 \times 20}{12-8} = \frac{160}{4} = 40$ Zoll.

Es gibt auch Methoden, nach welchen man die Brennweiten von Linsengläsern und das Brechungsverhältniß ihrer Materie selbst in dem Falle finden kann, wenn nicht einmal die Krümmungshalbmesser bekannt sind. Doch trage ich Bedenken, diese Verfahrungsarten hier zu erklären, da ich nicht absehe, was sie für die Kenntniß und Verfertigung optischer Instrumente für Nutzen haben könnten. Man hat durch diese Methoden, welche besonders von Stampfer in Wien mit großer Präcision angewendet worden sind, die Construction ausgezeichneter achromatischer Fernröhre, wie z. B. der Frauenhoferschen, ermittelt, doch darf sich ein Künstler von solchen Abmessungen keinen Vortheil versprechen, wenn er nicht Anleitung hat, die Einrichtung nach der besondern Glasart, die er anwenden kann, zu machen.

§. 97.

Von den Erscheinungen, welche Glaslinsen darbieten, wenn sie auf der einen Seite mit Folie, wie die gewöhnlichen Zimmerspiegel belegt sind.

Da man dergleichen Spiegel zu manchen optischen Zwecken, z. B. zur Erleuchtung der Gegenstände, welche durch Microscope betrachtet werden sollen, verwendet, so dürfen sie hier nicht übergangen werden.

Es sey also MN (Taf. XXI. Fig. 2) eine auf beiden Seiten erhabene Linse und XG ihre Axe; die Hinterseite MBN sey nach Art der Glasspiegel mit Folie belegt. In X sey ein Punkt, welcher den Strahl XE auf die Vorderfläche des Glasspiegels wirft, so wird zuerst dieser Strahl von der Linse auf gewöhnliche Weise gebrochen und hat die Richtung DG, die er vermöge der Brechung an der Vorderfläche der Linse erhalten muß und in welcher er auf

die Spiegelfläche gelangt. Von dieser wird er nun zurückgeworfen und erhält dadurch die Richtung KI, vermöge welcher er in dem Punkte K mit der Axe zusammentreffen würde. Die Richtung KI bestimmt sich auf dieselbe Weise, wie wir den Weg convergirender Strahlen zu zeichnen gelehrt haben, wenn sie durch einen Hohlspiegel reflectirt werden. Die Richtung IK behält der Strahl so lange, bis er bei L wieder aus dem Glase zurücktritt, denn hier wird er nur noch stärker nach der Axe zugebrochen und erhält die Richtung LF. In F trifft er mit der Axe zusammen und auf gleiche Weise auch alle Strahlen, welche von X ausgehen und vom Spiegel wieder reflectirt werden. Folglich entsteht in F ein Bild des Punktes X.

Hieraus sehen wir, daß die Wirkung eines solchen Spiegels ganz analog ist der Wirkung einfacher sphärischer Hohlspiegel, nur daß hier außer der Spiegelung an der belegten Fläche auch die Brechung des Glases mit wirkt und so die Vereinigungsweite F noch näher an das Glas gezogen wird, als es der Fall seyn würde, wenn nur die Spiegelung der belegten Fläche wirkte.

Wenn eine auf beiden Seiten hohle Linse mit Folie belegt wird, so findet gerade die entgegengesetzte Wirkung statt; ein solcher Glasspiegel wirkt wie ein gewöhnlicher Converspiegel. Indem nämlich parallele oder divergirende Strahlen auf die vordere Fläche der Linse fallen, werden sie hier so gebrochen, daß sie divergiren oder von einem vor dem Glase liegenden Punkt auszugehen scheinen und in dieser Richtung gehen sie durch das Glas hindurch bis an die Hinterfläche, wo sie, wenn keine Belegung da wäre, zum zweitenmal gebrochen werden würden, wie es bei Glaslinsen stattfindet. Aber die convexe Spiegelfläche weist sie wieder zurück und macht sie, wie Conver=

spiegel thun, mehr divergirend. So gelangen sie wieder bis an die Vorderfläche des Glases, von der sie zum zweitenmal gebrochen und noch mehr divergirend gemacht werden. — Eine solche Vorrichtung wirkt also gerade wie ein erhabener Kugelspiegel und entwirft in derselben Weise verkleinerte und aufrecht stehende Bilder.

Wir bemerken hierbei folgende Fälle, welche zum praktischen Gebrauche hinreichend seyn werden.

1) Eine gleichseitige Convexlinse wirkt, wenn sie auf einer Seite foliirt wird, wie ein Hohlspiegel und die Brennweite ist gleich dem vierten Theile des Kugelhalbmessers, wonach beide Flächen der Linse gekrümmt sind, wenn das Brechungsverhältniß des Glases $= \frac{3}{2}$ ist.

2) Eine Planconvexlinse, welche auf der erhabenen Seite mit Folie belegt wird, wirkt ebenfalls als Hohlspiegel und die Brennweite ist gleich dem dritten Theile des Kugelhalbmessers, wonach die convexe Fläche gekrümmt ist.

3) Wird die ebene Seite eines Planconvexglases mit Folie belegt, so erhält man einen Spiegel, der ebenfalls als hohler Kugelspiegel wirkt, aber die Brennweite ist gleich dem Kugelhalbmesser selbst, wonach die erhabene Fläche gekrümmt ist.

4) Wenn in den drei genannten Fällen statt der convexen Fläche eine hohle gesetzt wird, so wirkt der Spiegel wie ein erhabener Kugelspiegel und zerstreut die Strahlen so, als ob sie aus einem hinter ihm gelegenen Punkte herkämen. Die Entfernung dieses Punktes wird eben so bestimmt, wie die Brennweite in dem Falle, wo statt der hohlen Fläche eine convexe gesetzt ist.

5) Ein Glas, welches auf einer Seite convex, auf der andern hohl, aber beidemal nach gleichem Halbmesser gekrümmt ist, wirkt als hohler Kugelspie-

gel, wenn die Folie auf die hohle Seite gebracht wird. Die Brechungen, welche der Strahl beim Eintritt in das Glas und beim Austritt aus demselben erleidet, heben einander mit Hilfe der Spiegelung auf. Es sey nämlich MN (Taf. XXI. Fig. 3) ein solcher Spiegel, AF seine Axe und ZE ein mit derselben parallel auffallender Strahl. Dieser wird von der hohlen Vorderfläche des Glasspiegels so gebrochen, daß er die Richtung AE hat und in dieser gelangt er auf die Spiegelfläche. Das leuchtende Object ist nun in A zu setzen und sein Bild muß daher weiter vom Spiegel fallen, als das Bild des unendlich weit entfernten Objects, von dem der Strahl ZE kommt. Die Reflexion gibt nun dem Strahle die Richtung EB und wenn dieser wieder aus dem Glase herausgeht, so wird er mehr nach der Axe zugebrochen und in die Richtung EF gebracht. Diese letzte Brechung hebt genau den Unterschied auf, der daher entstanden ist, daß die Strahlen nicht parallel auf den Spiegel fielen, sondern so, als kämen sie aus A.

Für solche, welche sich vollständiger in dieser Sache unterrichten wollen, setze ich die Formel her, nach welcher die Brennweite von Spiegeln, die man durch Foliiren von Glaslinsen erhält, berechnen kann. Es sey der Halbmesser der offenen, d. h. nicht belegten Fläche = r, der der foliirten = R, das Brechungsverhältniß = n, die Brennweite = p, so ist

$$\frac{1}{p} = \frac{2(n-1)}{r} + \frac{2n}{R},$$

wonach man den Bruch $\frac{1}{p}$, also auch p berechnen kann. Für p selbst hat man die Gleichung:

$$p = \frac{rR}{2(n-1)R + 2nr}.$$

Dieses gilt zunächst, wenn die Flächen convex sind.

Ist das Glas gleichseitig, also $r = R$, so ist

$$p = \frac{R}{4n - 2}.$$

Ist die Linse planconvex und die convexe Seite belegt, so ist

$$p = \frac{R}{2n}$$

und wenn die ebene Seite belegt ist

$$p = \frac{r}{2n - 2}.$$

Die drei letzten Formeln gelten auch für den Fall, daß die convexen Flächen in hohle übergehen, nur wird alsdann aus der Brennweite eine Zerstreuungsweite. Wenn die eine Fläche hohl ist, die andere convex, so muß man den Krümmungshalbmesser der hohlen Fläche in der allgemeinen Formel für p negativ nehmen, dabei aber immer Obacht geben, daß r den Halbmesser der offenen, R den der belegten Fläche bedeutet. So oft p negativ wird, wirkt der Spiegel als Kugelspiegel.

§. 98.

Von den Fehlern sphärischer Linsengläser.

A. Abweichung wegen der Kugelgestalt.

Wir haben in dem Vorigen bei der Untersuchung der Brechung durch sphärische Linsen gesehen, daß alle Strahlen, die von einem Punkte der Axe oder parallel mit ihr auf ein Glas fallen, nach der Brechung auch genau wieder in einem Punkte sich vereinigen und daselbst ein Bild des Gegenstandes verursachen, sey es nun ein Scheinbild oder ein wahres. Diese Voraussetzung ist aber in der That nicht ganz richtig, sondern nur für den Fall zulässig, daß die Punkte, wie E (Taf. XVIII. Fig. 1), in welchen

die Strahlen auf die Linse treffen, nicht sehr weit von der Axe entfernt liegen, oder mit andern Worten, daß das Perpendikel EP vom Einfallspunkt E auf die Axe nur klein ist, oder aber, wenn die Linse nur eine geringe Oeffnung hat. Strahlen, welche sehr nahe an der Axe auf das Glas fallen, nennt man Centralstrahlen und die Vereinigungsweiten und Brennweiten, die wir im Obigen zu berechnen gelehrt haben, gelten eigentlich bloß für solche Centralstrahlen.

Diejenigen Strahlen aber, welche in beträchtlicher Entfernung von der Axe, also nahe am Rande des Glases einfallen, heißen Randstrahlen und sie werden von sphärischen Linsen stärker gebrochen, als die Centralstrahlen, daher auch in einem dem Glase näher liegenden Punkte mit der Axe vereinigt, als die um die Mitte des Glases liegenden Strahlen. Es sey z. B. der Vereinigungspunkt aller Centralstrahlen des Glases MN (Tafel XVIII. Fig. 1) in f, so wird der Randstrahl ZE nach dem Durchgange durch diese Linse nicht auch nach f gehen, sondern die Axe in einem näher am Glase gelegenen Punkte F treffen, so daß die Vereinigungsweite eines Randstrahls geringer ist, als die nach obigen Formeln berechnete Vereinigungsweite der Centralstrahlen.

Den Unterschied Ff zwischen der Vereinigungsweite der Centralstrahlen und der eines Randstrahls, nennt man Abweichung wegen der Kugelgestalt, weil in der That die kugelförmige Krümmung der Linsen Ursache an dieser Abweichung ist. Die Abweichung wegen der Kugelgestalt ist zwar, wenn die Oeffnung des Glases (d. h. seine Breite) nicht allzu groß ist, nur gering und kaum merklich, wenn aber ein optisches Instrument große Oeffnungen seiner Gläser besitzen soll, was in der That ein nothwendiges Erforderniß eines guten Werkzeugs ist, so kann

jene Abweichung eine bedeutende Störung des deutlichen Sehens hervorbringen, daher man ihren Einfluß kennen und so viel wie möglich verringern, oder wenn es angeht, gar vernichten muß. Vor der Entdeckung der noch größern Abweichung wegen der verschiedenen Brechbarkeit der farbigen Strahlen hielt man die Abweichung wegen der Kugelgestalt für den einzigen Grund der Undeutlichkeit optischer Instrumente, daher man sich nach anders, als kugelförmig gekrümmten Linsen umsah, um mit Wegbringung der Abweichung die gewünschte Deutlichkeit zu erhalten. Man fand auch in der That, daß Linsen mit elliptischen und hyperbolischen Oberflächen alle aus einem Punkte der Axe kommenden Strahlen genau wieder in einem Punkte sammeln, aber dieser Gedanke mußte liegen bleiben, sobald man zur Ausführung schritt; denn nur sphärische Linsen lassen sich mit erforderlicher Genauigkeit schleifen. Als man aber die weit schädlichere Abweichung wegen der verschiedenen Brechbarkeit hatte kennen lernen, gab man den Gedanken, elliptische und hyperbolische Glaslinsen zu verfertigen, ganz auf.

§. 99.

Man kann über die Abweichung wegen der Kugelgestalt genaue Rechnungen führen, es sind aber dieselben so verwickelt, daß nur ein geübter Mathematiker sie handhaben kann und sie daher nicht in dem Plane der gegenwärtigen Schrift liegen können. Ein praktischer Optiker darf sich deshalb wohl trösten, da man jetzt sehr vollständige und bequeme Tabellen über die Krümmungshalbmesser achromatischer Doppelobjective hat und sie dadurch der beschwerlichen und gerade hier höchst wichtigen Rechnungen wegen der Kugelabweichung überhoben seyn können.

Zur nähern Kenntniß dieser Abweichung wollen wir indeß noch Folgendes bemerken.

1) Bei Linsen mit verschieden gekrümmten Oberflächen ist es durchaus nicht gleichgültig, welche Seite man dem Gegenstande zukehrt. Ist z. B. der Gegenstand unendlich weit entfernt, so muß man ihm immer die am stärksten gekrümmte Seite der Linse zukehren, z. B. bei einer planconvexen Linse die convexe Seite. Liegt aber das Object im Brennpunkte der Linse, so muß ihm die schwächer gekrümmte Seite zugekehrt werden.

2) Wenn der Gegenstand unendlich weit entfernt ist, welches wir immer voraussetzen wollen, so hat man für die Abweichung wegen der Kugelgestalt folgende Formel:

$$\frac{npxx}{2(n-1)^2}\left[\frac{n}{pp}-\frac{(2n+1)(n-1)}{nrp}+\frac{(n+2)(n-1)^2}{nnrr}\right].$$

Hier ist x die halbe Oeffnung (Oeffnungshalbmesser), p die Brennweite, n das Brechungsverhältniß, r der Halbmesser der dem Objecte zugekehrten Fläche des Glases. Die Formel gilt zunächst für eine auf beiden Seiten convexe Linse, wenn aber die Vorderfläche hohl wird, so muß ihr Krümmungshalbmesser r negativ gesetzt werden und eben so auch die Brennweite p, wenn die Linse als ein Zerstreuungsglas wirkt. Wer mit den Rechnungen mit positiven und negativen Größen umgehen kann, kann diese Formel leicht handhaben. Diese Abweichung muß von der Brennweite p für die Centralstrahlen abgezogen werden, wenn man die Vereinigungsweite des Randstrahls finden will, welcher in der Entfernung x vom Mittelpunkte des Glases parllel mit der Axe einfällt.

3) Es ist (einen sehr beschränkten und nicht anwendbaren Fall ausgenommen) nicht möglich, eine kugelförmig gekrümmte Linse zu verfertigen, bei der die Abweichung wegfiele, aber es gibt ein Verhältniß der Krümmungshalbmesser, bei dem die Abweichung so klein als möglich wird. Soll nämlich die Brenn-

weite einer Linse = p seyn und die Abweichung ein Kleinstes werden, so ist

der vordere Halbmesser $= \frac{2(n-1)(n+2)}{(2n+1)n}\, p$

der hintere Halbmesser $= \frac{2(n-1)(n+2)}{4+n-2nn}\, p$

und die kleinste Abweichung beträgt:

$$\frac{n(4n-1)xx}{8(n-1)^2(n+2)p}$$

vorausgesetzt, daß der Gegenstand unendlich weit entfernt ist. Ist daher das Brechungsverhältniß $n = \frac{3}{2}$, so ist

der vordere Halbmesser $= \frac{7}{12}\, p$
der hintere Halbmesser $= \frac{7}{2}\, p$,

also muß der hintere Halbmesser 6mal größer seyn, als der vordere.

Die kleinste Abweichung beträgt:

$$\tfrac{15}{14} \cdot \frac{xx}{p}.$$

Wie gering dieses ist, wollen wir an einem Beispiele zeigen. Huyghens besaß ein Fernrohr, dessen Objectivglas bei 30 Fuß = 360 Zoll Brennweite 3 Zoll Oeffnung hatte. Hier ist also $p = 360$, $x = \frac{3}{2}$ und daher die Abweichung $= \frac{15}{14} \cdot \frac{(\frac{3}{2})^2}{360} = \frac{15 \cdot 9}{14 \cdot 4 \cdot 360} = \frac{3}{448}$ Zoll $= \frac{9}{112}$ Linien, wenn anders das Glas nach obigem Verhältniß der Halbmesser geschliffen und das Brechungsverhältniß $\frac{3}{2}$ war. Diese Abweichung ist ganz unschädlich, wie wir später noch deutlicher einsehen werden.

Wäre aber die Brennweite $p = 1$ Fuß = 12 Zoll, die Oeffnung = 4 Zoll, also die halbe Oeffnung $x = 2$ Zoll, so wäre die kleinste Abweichung $\frac{5}{14}$ Zoll. So groß darf sie aber bei keinem optischen Instru-

mente genommen werden und ist etwa nur bei Brenngläsern zulässig.

Man nennt solche Linsen, bei denen die Kugelabweichung ein Kleinstes wird, Linsen von der besten Form. Liegt der Gegenstand im Brennpunkte, so muß, wenn die Abweichung ein Kleinstes werden soll, die flächere Seite vorgestellt werden, weil im entgegengesetzten Falle die Abweichung gar die größtmögliche wird. So würde auch die Abweichung ein Größtes werden, wenn man einem unendlich weit entfernten Objecte die flache Seite zukehren wollte.

4) Ist die Linse gleichseitig, so ist es natürlich gleichgültig, welche Seite man dem Gegenstande zukehrt. Die Abweichung beträgt für einen unendlich weit entfernten Gegenstand:

$$\frac{4n^3-4nn-n+2}{8n(n-1)^2} \cdot \frac{xx}{p}$$

oder wenn $n = \frac{3}{2}$,

$$\frac{5}{3} \cdot \frac{xx}{p}.$$

5) Ist das Glas planconvex und wird die erhabene Seite einem unendlich weiten Gegenstande zugekehrt, so ist die Abweichung

$$\frac{n^3-2n^2+2}{2n(n-1)^2} \cdot \frac{xx}{p}$$

oder für $n = \frac{3}{2}$, $\frac{7}{6} \frac{xx}{p}$, welche Abweichung von der kleinsten nur um weniges unterschieden ist, daher man auch gern zu optischen Instrumenten Planconvexgläser verwendet.

6) Wird aber die ebene Seite eines Planconvexglases einem unendlich weiten Gegenstande zugekehrt, so beträgt die Abweichung

$$\frac{nn}{2(n-1)^2} \cdot \frac{xx}{p},$$

welches für $n = \frac{3}{2}$, $\frac{9}{2} \cdot \frac{xx}{p}$ beträgt. Diese Abweichung ist beinahe 4mal größer, als die in Nr. 4, wo das Glas die umgekehrte Stellung hat und man kann hieraus abnehmen, wie viel auf die Stellung der Linsen in Bezug auf die Kugelabweichung ankommt.

7) Wenn das Brechungsverhältniß zunimmt, so nimmt die Abweichung ab. Ist z. B. für den Fall Nr. 4 das Brechungsverhältniß $= 1 \cdot 6$, so beträgt die Abweichung $\frac{61}{72} \cdot \frac{xx}{p}$, welches um ein Merkliches weniger ist, als wenn $n = \frac{3}{2}$ genommen wird.

8) Die Fälle 2 bis 7 gelten auch dann, wenn statt der converen Flächen concave gesetzt werden, wo man lauter Zerstreuungsgläser erhält. Diese zerstreuen nämlich die Central- und Randstrahlen auf ähnliche Weise verschieden, wie die Sammelgläser sie sammeln. Wenn z. B. in Taf. XIX. Fig. 1 f der Zerstreuungspunkt für die Centralstrahlen ist, so liegt der Zerstreuungspunkt F des Randstrahls ZE näher am Glase und die Kugelabweichung fF wird nach eben den Formeln berechnet, die wir in den Nrn. 2 bis 7 aufgestellt haben, indem p die Zerstreuungsweite der Centralstrahlen bedeutet.

§. 100.

Um die durch die Kugelabweichung hervorgebrachte Undeutlichkeit zu beurtheilen, construirt man den **Abweichungskreis**. Es sey (Tafel XXI. Fig. 4) Ee eine Linse, AF ihre Axe und die Vereinigungsweite der Centralstrahlen in F. Ferner sey Ze ein am äußersten Rand auffallender Strahl, so liegt der Punkt f, in welchem er die Axe trifft, zwischen F und dem Glase, und es ist fF die größte Abweichung wegen der Kugelgestalt. Wenn nun der

unterhalb der Axe einfallende Strahl ze eben so weit von der Axe absteht, als ZE, so geht er ebenfalls durch f und auf gleiche Weise gehen alle am Rande in derselben Entfernung von der Axe auffallenden Strahlen durch f. Sie bilden daher einen Kegel pfq und wenn man diesen bei dem Vereinigungspunkte F der Centralstrahlen mit einer senkrecht auf der Axe stehenden Ebene durchschneidet, so erhält man einen Kreis vom Durchmesser pq, welcher der Abweichungskreis genannt wird und durch dessen Fläche jeder Strahl, der, wie z′e′, zwischen ZE und ze auf das Glas fällt und daher in einem zwischen f und F gelegenen Punkte f′ die Axe trifft, hindurch gehen muß. Das Bild des Punktes also, von welchem die Strahlen ZE, ze u. s. w. ausgehen, erscheint nicht mehr als ein Punkt, sondern als ein Kreis vom Halbmesser Fq und daher muß Undeutlichkeit entstehen, die um so größer wird, je größer Fq ist. Daher kann man nach der Größe des Abweichungskreises die Undeutlichkeit des Bildes schätzen.

Der so construirte Abweichungskreis pq faßt alle von demselben Punkte auf das Glas auffallenden Strahlen, ist aber keineswegs der einzige, welcher diese Eigenschaft besitzt. Vielmehr gibt es in dem Kegel pfq nach f zu unzählig viel senkrechte Durchschnitte, durch welche ebenfalls jeder Strahl hindurch passiren muß und unter ihnen ist einer der kleinste, der nämlich, welcher um $\frac{3}{4}$ der Länge fF von F absteht und der in der Figur etwa mn seyn mag. Ein senkrechter Durchschnitt des Kegels pfq aber, der näher an f liegt, als mn, faßt nicht mehr alle von demselben Punkt ausgehenden und sich über die ganze Fläche des Glases Ee verbreitenden Strahlen. Diesen kleinsten Abweichungskreis hat man vorzugsweise zum Maase der Undeutlichkeit gemacht und man kann seinen Durchmesser oder Halbmesser leicht berechnen,

wenn man die Abweichung Ff kennt. Versteht man nämlich unter L die Abweichung fF, die man nach dem vorigen §. berechnen kann, und ist x die halbe Oeffnung der Linse, so ist

$$(mn) = \frac{x \cdot L}{4p},$$

wobei wiederum vorausgesetzt wird, daß das Object unendlich weit vom Glase entfernt ist und daher AF = p die Brennweite bedeutet.

Bei einer Linse von der besten Form ist z. B., wenn das Brechungsverhältniß = $\frac{3}{2}$ gesetzt wird, L $= \frac{15\,xx}{14p}$, daher der Halbmesser des kleinsten Abweichungskreises

$$(mn) = \frac{15x^3}{56pp}.$$

Es war bei dem im vorigen §. erwähnten Hugenianischen Fernrohre x = $\frac{3}{2}$ Zoll, p = 360 Zoll, daher der kleinste Abweichungskreis = 0·000007 Zoll, welches eine von unserm Auge nicht wahrnehmbare Größe ist, selbst dann noch nicht, wenn sie, wie im erwähnten Fernrohre, durch ein Augenglas von 3,3 Zoll Brennweite betrachtet wird.

§. 101.

B. Abweichung wegen der verschiedenen Brechbarkeit der farbigen Lichtstrahlen.

Wir haben früher umständlich gezeigt, wie ein weißer Lichtstrahl, sobald er aus einem durchsichtigen Mittel in ein anderes übergeht, in seine 7 Farben gleichsam gespalten wird, indem einer jeden dieser Farben ihr eigenes Brechungsverhältniß zukommt. Diese Erscheinung wird auch auf alle Fälle bei der Brechung durch Glaslinsen eintreten, so daß ein zu-

sammengesetzter Lichtstrahl nicht mehr einfach; sondern in Farben gespalten aus dem Glase heraustritt und jedem besondern farbigen Strahle seine eigene Vereinigungsweite zukommt. So spaltet sich z. B. der Strahl ZE (Taf. XI. Fig. 4) in den äußersten rothen EF, dessen Vereinigungspunkt F mit der Axe am weitesten vom Glase entfernt liegt, weil das rothe Licht die geringste Brechbarkeit besitzt, und in den äußersten violeten Ef, welcher am ehesten mit der Axe sich wieder vereinigt, da ihm die größte Brechbarkeit zukommt. Zwischen ihnen liegen nun die übrigen farbigen Strahlen und ihre Vereinigungspunkte zwischen f und F. Daher besteht das Bild eines Punktes, der mit weißem Lichte leuchtet, aus eben so viel farbigen Bildern, als im weißen Lichte verschieden gefärbte Strahlen vorhanden sind und diese Bilder liegen in der Ordnung hinter einander, in welcher die verschiedenen Strahlen minder und minder gebrochen werden, das violete dem Glase zunächst, das rothe am weitesten von ihm.

Wenn man von der Brennweite oder der Vereinigungsweite eines Linsenglases redet, so ist dieselbe immer für die mittleren Strahlen berechnet, wofür man allgemein, wie schon bemerkt, diejenigen annimmt, welche zwischen dem Gelb und Grün die Mitte halten. Ihr Vereinigungspunkt sey in P, so ist PF die Abweichung der rothen, Pf die der violeten Strahlen, aber P liegt genau in der Mitte zwischen f und F.

Man kann die Abweichung der farbigen Strahlen dadurch berechnen, daß man, wenn z. B. die der violeten gesucht wird, in den Formeln des §. 79 für die Brennweiten der Linsengläser, das Brechungsverhältniß der violeten Strahlen statt n setzt. Dadurch erhält man die Brennweite der violeten Strahlen und ihr Unterschied von der der mittlern ist die

Abweichung. Kürzer aber rechnet man nach der Formel:

Farbenabweichung vom mittlern Brennpunkte =

$$\frac{dn}{(n-1)}\,p,$$

wo dn den Unterschied der Brechungsverhältnisse der mittlern und farbigen Strahlen, n das mittlere Brechungsverhältniß und p die Brennweite der mittlern Strahlen bedeutet.

Es sey z. B. n = 1·55 für die mittlern und 1·56 für die violeten Strahlen, so gibt der Unterschied dieser Brechungsverhältnisse 0·01, welches dn ist, also hat man die Abweichung der violeten Strahlen $\frac{0 \cdot 01}{0 \cdot 55}\,p = \frac{p}{55}$. Wenn also p = 55 Fuß beträgt, wie man ehedem Linsen von so großen Brennweiten zu Objectivgläsern von Fernröhren gebrauchte, so beträgt die Abweichung schon 1 Fuß. Für die rothen Strahlen wäre das Brechungsverhältniß 1·54, also dn = 0·01 und die Abweichung ebenfalls = $\frac{p}{55}$, oder = 1 Fuß für p = 55. Also steht das rothe Bild vom violeten gar um 2 Fuß ab, indem die Abweichung beider Strahlen auf verschiedene Seiten des mittlern Brennpunkts fällt. Da begreift man denn in der That kaum, wie man bei so großen Abweichungen noch deutliche Bilder sehen kann.

§. 102.

Um die Undeutlichkeit der Bilder zu beurtheilen, welche durch die Farbenabweichung verursacht wird, construiren wir einen Abweichungskreis, indem wir in alle Punkte des Glases, die eben so weit, als E, von der Axe abstehen, Strahlen ze einfallen lassen, die nach Vorigem so zerstreut werden, daß die viole-

ten ihren Brennpunkt in f, die rothen in F und die Zwischenfarben zwischen f und F haben, und hernach durch den Vereinigungspunkt P der mittlern Strahlen eine gegen die Axe des Glases senkrechte Ebene legen. Diese schneidet den Kegel mfn der violeten Strahlen in einem Kreise vom Durchmesser mn und der Kegel oFr in einem Kreise vom Durchmesser or. Nach der Größe dieses Kreises beurtheilt man die Undeutlichkeit, eben so wie bei der Abweichung wegen der Kugelgestalt. Der Kreis mn ist nämlich der Raum, in welchen das Bild des Punktes, woher die Strahlen ZE, ze kommen, zerstreut wird.

Fängt man die Strahlen bei P mit einem weißen Schirm auf, so malt sich auf diesem der Zerstreuungskreis mn ab. Bei m und n kann bloß violete und blaue Farbe seyn, weil dahin bloß die violeten und blauen Strahlen gelangen und daher hat der Kreis mn einen blauen Rand, der nach außen hin ins Violete sich verliert. Nach dem Mittelpunkte P zu vereinigen sich aber immer mehr Farben und bringen da wieder das Weiß hervor. Würde die Ebene in pq aufgestellt, so würde zwar ebenfalls noch ein farbiger Rand bleiben, aber in ihm das Violet und Roth gemischt erscheinen, weil bei p und q die äußersten rothen und violeten Strahlen sich vereinigen. Näher nach f hin wird das Bild, wie man leicht sieht, einen rothen Rand haben müssen. — So ist das Bild von jedem Punkte des Objects ein nach außen hin gefärbter Kreis und diese Kreise greifen theilweis in einander und verwischen die Deutlichkeit.

Der Halbmesser Pm des Abweichungskreises ist ein eben so vielster Theil von der halben Oeffnung des Glases, als die Abweichung PF oder Pf von der ganzen Vereinigungsweite AP. Ist daher die

halbe Oeffnung AE = x, so ist jener Halbmesser =

$$\frac{x\,dn}{n-1},$$

oder wenn wir, wie im vorigen §., n = 1·55, dn = 0·01 nehmen

$$\frac{x}{55}.$$

In dem erwähnten Hugenianischen Fernrohre war z. B. $x = \frac{3}{2}$ Zoll, daher der Halbmesser des Abweichungskreises $= \frac{3}{110}$. In §. 100 haben wir den Abweichungskreis wegen der Kugelgestalt desselben Fernrohrs = 0·000007 Zoll gefunden und dieser ist daher über 3900 mal geringer, als jener. Durch diese Vergleichung wird die Schädlichkeit der Farbenabweichung noch einleuchtender. Sie wird indessen in ihrem Einflusse dadurch gar sehr beschränkt, daß die Lichtintensität des Farbenabweichungskreises mn in der Mitte am stärksten ist, von da aber nach dem Rande hin ungemein abnimmt, während der Farbenabweichungskreis an verschiedenen Stellen nicht sehr verschiedene Lichtintensität besitzt. Eine kleinere Kugelabweichung wird also eben so viel Undeutlichkeit verursachen können, als eine weit größere Farbenzerstreuung.

§. 103.

Von der Brechung durch Kugeln.

Auch gläserne Kugeln und Halbkugeln werden in der Optik häufig gebraucht und sie wirken gerade so wie Sammelgläser. Ihre Wirkung kann man sich an Fig. 5, Taf. XI. sehr leicht klar machen, wo der einfallende Strahl ZE mit der Axe AG (die durch den Mittelpunkt K der Kugel geht) parallel ist. Zieht

man nämlich das Einfallsloth KE, so wird der Strahl ZE nach ihm zugebrochen und nimmt die Richtung EG an, vermittels welcher er mit der Axe in G zusammentreffen würde. In I aber wird er von dem Einfallslothe KI wieder weggebrochen und hat die Richtung IF, so daß er in F mit der Axe zusammentrifft. —

Die Entfernung BF hinter der Kugel, in welcher Parallelstrahlen mit der Axe sich wieder vereinigen, oder die Brennweite p der Kugel läßt sich nach der Formel berechnen

$$p = \frac{(1-\frac{1}{2}n)r}{n-1},$$

wo n das Brechungsverhältniß, r den Halbmesser der Kugel bedeutet. Ist z. B. die Kugel aus Glas und $n = \frac{3}{2}$, so wird $p = \frac{1}{2}r$, oder die Brennweite dem halben Kugelhalbmesser gleich. Ist die Kugel aus Wasser (wie z. B. die gewöhnlichen mit Wasser gefüllten Erleuchtungskugeln), so ist $n = \frac{4}{3}$ (als das Brechungsverhältniß des Wassers) und daher $p = r$, oder die Brennweite dem Kugelhalbmesser gleich.

Die Brechung bei einer Halbkugel ist gerade so, wie die bei einer Planconvexlinse, nur daß die Dicke derselben nicht mehr als unbeträchtlich gegen die übrigen Größen, Krümmungshalbmesser, Brennweite, geachtet werden darf. Auch macht es einen bedeutenden Unterschied, ob man die ebene oder die convexe Seite einer Halbkugel dem Gegenstande zukehrt. Im erstern Fall ist die Brennweite, wenn n und r die vorigen Bedeutungen haben,

$$p = \frac{r}{n-1}$$

und im andern Falle $p = \frac{r}{n(n-1)}$.

Ist z. B. für eine gläserne Halbkugel das Brechungsverhältniß = $\frac{3}{2}$, so ist ihre Brennweite = 2r, d. h. dem Kugeldurchmesser gleich, wenn die ebene Seite der Sonne zugekehrt wird; wird hingegen die erhabene Seite der Sonne zugewendet, so ist die Brennweite nur $\frac{4}{3}$ r, d. h. dem dritten Theile vom vierfachen Halbmesser gleich.

§. 104.

Die catoptrischen Linsen.

Unter catoptrischen Linsen versteht man gleichschenklich rechtwinklige Prismen, bei denen von den beiden Kathetenflächen und der Hypothenusenfläche die eine oder die andere kugelförmig abgeschliffen ist. Es sey (Taf. XXV. Fig. 4) ABC der senkrechte Durchschnitt eines solchen Prismas, A der rechte Winkel und die Kathetenfläche AC nach einem gewissen Halbmesser, wie die Oberfläche eines Linsenglases gekrümmt. Der Strahl XD falle in der Mitte D senkrecht auf die krumme Oberfläche AC, so daß er ungebrochen in das Prisma eintritt und sey gegen die Hypothenusenfläche BC unter einem Winkel von 45° geneigt, so daß er, nachdem er von BC zurückgeworfen worden (§. 63), die ebene Kathetenfläche AB senkrecht trifft und an ihr ungebrochen aus dem Prisma heraustritt. Diesen Strahl, welcher nicht gebrochen, sondern nur einmal gespiegelt wird, könnte man die Axe der Linse nennen.

Der Strahl XC, welcher aus dem Punkte X der Axe kommt, wird von der Fläche AC, wie von der Vorderfläche eines convexen Linsenglases nach der verlängerten XE zugebrochen, so daß er diese Linie in K treffen würde, wenn er nicht bei G von der Fläche BC zurückgeworfen würde und die Fläche AB in H träfe, wo er zum zweitenmale gebrochen wird

und nachdem die EP in P trifft. In P muß also ein Bild des Punktes X entstehen. Die Wirkung dieser catoptrischen Linse ist also ziemlich eben so, als wenn AC eine Planconvexlinse wäre, deren Bild von einem unter 45° geneigten Spiegel BC aufgefangen und nach P reflectirt würde, aus welcher Vergleichung auch leicht sich ergibt, daß das Bild des Objectes XZ die Lage Pv haben muß.

Man kann solchen Linsen auch noch andere Formen geben, indem man noch die andere Kathetenfläche oder die Hypothenusenfläche sphärisch krümmt. In Fig. 5 ist eine solche Linse abgebildet, wo die Hypothenusenfläche AB hohl gekrümmt ist und daher die ihr von der Fläche CA zugebrochenen Strahlen wie ein Convexspiegel reflectirt.

Sechstes Kapitel.

Einfache optische Instrumente, die aus Linsengläsern bestehen.

§. 105.

Die Brenngläser.

Wir haben schon gesehen, wie Sammelgläser in der Distanz des Brennpunktes ein Bild der Sonne erzeugen, in welchem die Strahlen ungemein verdichtet sind und dadurch die Kraft, große Hitze zu erregen, erlangen. Um aber recht wirksame Brenngläser zu erhalten, muß man ihnen eine große Oberfläche geben; denn je größer diese ist, desto mehr Strahlen

werden im Brennraume zusammengebracht. Zugleich muß aber auch die Brennweite der Linse nicht allzu groß seyn; denn in dem Maase, wie die Brennweite zunimmt, nimmt auch der Durchmesser des kreisrunden Sonnenbildes zu, die Fläche desselben aber, wie das Quadrat des Durchmessers und in eben dem Verhältniß wird auch das auf die Linse fallende Sonnenlicht ausgebreitet und die Wirksamkeit desselben geschwächt. Am besten eignen sich daher zu Brenngläsern gleichseitige Convexlinsen, weil diese zu einer gegebenen Brennweite die geringsten Krümmungen erfordern und daher auch die größten Oeffnungen zulassen. Auf die Abweichung wegen der Kugelgestalt und auf die Farbenzerstreuung kommt hier nicht viel an, weil nicht die Hervorbringung eines deutlichen Bildes Zweck ist, sondern bloß möglichst größte Anhäufung des Lichts in dem möglichst geringsten Raume.

Ueber den Grad der Verdichtung des Sonnenlichts lassen sich in eben der Weise Vergleichungen anstellen, wie bei Brennspiegeln und die Resultate müssen dieselben seyn. Wenn nämlich die Brennweite der Linse $= p$ ist, ihr Oeffnungsdurchmesser $= z$, so wird das Licht im Sonnenbilde

$$11664 \frac{z^2}{p^2} \text{ mal}$$

verdichtet (vergl. §. 53).

Ist z. B. die Brennweite einer Linse 8 Fuß, ihr Oeffnungsdurchmesser 1 Fuß, so ist $\frac{z^2}{p^2} = \frac{1}{9}$ und die Verdichtung beträgt $11664 \times \frac{1}{9} = 1296$ mal.

Hierbei wird aber der Verlust bei Seite gesetzt, den die Lichtstrahlen durch die Reflexion an den Glasflächen und durch die Verschluckung beim Durchgange durch die Glasmassen erleiden.

Alle Brenngläser, bei denen das Verhältniß zwischen Brennweite und Oeffnung gleich ist, brennen mit gleicher Heftigkeit, weil sie das Sonnenlicht in ihrem Brennraume gleich stark verdichten; nur hat ein Glas von größerer Brennweite den Vorzug, daß es wegen des größern Sonnenbildes eine größere Fläche mit gleichem Grade der Hitze ergreift, wodurch es eben auch vermögend wird, weit heftigere Wirkungen hervorzubringen.

§. 106.

Um die Wirkung einer Brennlinse P (Taf. XXI. Fig. 5) noch mehr zu verstärken, stellt man zwischen sie und ihren Brennpunkt f noch das Sammelglas C von kürzerer Brennweite, welches Collectivglas genannt wird und so groß seyn muß, daß es den Strahlenkegel AB f faßt, dessen Grundfläche die Linse P ist und dessen Spitze im Brennpunkte f liegt. Dadurch wird der Brennpunkt f nach F zurückgezogen und hier ein noch kleineres Sonnenbild erzeugt, als in f der Fall seyn würde, aber eben dadurch wird auch die Dichtigkeit des Sonnenlichts vermehrt.

Wollen wir in diesem Falle die Verdichtung des Sonnenlichts schätzen, so haben wir die Formel

$$11664 \cdot \frac{z^2}{p^2} \times \left(\frac{p+p'-d}{p'}\right)^2,$$

wo p' die Brennweite der Collectivlinse und d ihren Abstand vom Hauptglase bezeichnet. Durch die zweite Linse wird nämlich der Durchmesser des Sonnenbilds $\frac{p+p'-d}{p'}$ mal verkleinert, also seine Fläche im Verhältniß des Quadrats dieses Bruchs vermindert, daher die Dichtigkeit des Lichts in eben diesem Verhältnisse vermehrt.

In dem vorigen Beispiele war die Brennweite der ersten Linse p = 3 Fuß, ihre Oeffnung z =

1 Fuß und die Verdichtug wurde 1296fach gefunden. Ist nun die Brennweite der zweiten Linse p' = $\frac{1}{10}$ Fuß, ihr Abstand d von der ersten Linse = 2 Fuß, so ist der Bruch $\frac{p+p'-d}{p'}$ = 11 und sein Quadrat 121, daher die Dichtigkeit des Sonnenlichts noch 121 mal vermehrt wird, so daß im Ganzen die Verdichtung 1296 × 121 = 156816fach wird.

Weil bei gleichen Krümmungshalbmessern einer Linse die Brennweite um so geringer wird, je größer das Brechungsverhältniß der Glasmasse ist, so eignet sich zu Brennlinsen solches Glas am besten, welches die Strahlen stark bricht, Flintglas also besser, als Kronglas.

§. 107.

Beispiele von Brenngläsern.

Die Brenngläser waren schon im Alterthume (vor Christi Geburt) bekannt, wie man aus einer Stelle des Komödiendichters Aristophanes sehen kann, woselbst ein gewisser Strepsiades ein neues Mittel vorträgt, sich von seinen Schulden zu befreien. Er wolle, sagt er, den schönen durchsichtigen Stein der Heilkrauthändler nehmen, womit sie Feuer anzünden und damit die Buchstaben der Klagschrift an der Sonne wegschmelzen. Im Mittelalter werden die Brenngläser von den optischen Schriftstellern häufig erwähnt, doch bediente man sich früher zu starken Wirkungen meistentheils der Brennspiegel, da so große Glasmassen, wie zu Brennlinsen erfordert werden, nur äußerst schwer mit leidlicher Reinheit zu erhalten und sehr schwer zu bearbeiten sind.

Erst der Hr. von Tschirnhausen, dem der Gebrauch der Gläser mehr zu versprechen schien, verfertigte Linsen von beträchtlicher Größe und brachte mittels einer Schleifmühle mehrere derselben zu Stande,

deren Wirkungen er in den Leipziger act. erud. 1691 und 1697 ausführlich beschrieben hat. Zwei davon kamen nach Paris, das eine von 33 Zoll Durchmesser und 7 Schuh Brennweite, das andere von eben so großem Durchmesser und 12 Schuh Brennweite. Die Wirkungen dieser Gläser sind denen des heftigsten Feuers gleich. Holz, selbst hartes, grünes und im Wasser erweichtes, wird im Augenblick entzündet; Wasser in kleinen Gefäßen siedet sogleich; Metalle von verhältnißmäßiger Dicke schmelzen, sobald sie durchaus einen gewissen Grad von Hitze erreicht haben. Dachziegel, Schiefer, Bimsstein, Talk u. dergl. glühen augenblicklich und verglasen sich, so dick sie auch seyn mögen. Fichtenholz wird unter dem Wasser zu Kohle, doch bleibt die Oberfläche, die das Wasser berührt, unverändert. Jedes Metall schmelzt auf einer ausgehöhlten Kohle und alle, besonders Blei und Zinn, verfliegen in Rauch, wenn sie einige Zeit im Flusse erhalten werden. Holzasche, Kräuter, Papier und Leinwand verglasen sich augenblicklich. Am leichtesten verändert das Brennglas schwarze Substanzen, die im Flusse schwarz bleiben; schwerer die, welche im Fluß ihre Farbe ändern; am schwersten die, welche im Flusse weiß sind, wie Kiesel, Kreide, Kalk u. dergl. Auf einer Porzellanplatte verglasen sich alle Metalle und das Gold bekommt dabei eine schöne purpurrothe Farbe. Man kann sehr viel, z. B. vier Unzen Silber im Brennpunkte schmelzen, wenn man anfänglich wenig hinein legt und das übrige nach und nach hinzu thut. Leicht flüssige Materien dienen andern zum Schmelzungsmittel. Auch streng flüssige schmelzen vermengt leichter, als einzeln. Alle Körper, nur die Metalle ausgenommen, verlieren im Feuer ihre Farbe. Manche Körper werden im Flusse durchsichtig und beim Erkalten undurchsichtig und milchweiß, andere, die im Flusse undurchsichtig waren,

werden beim Erkalten durchsichtig. Man kann auch durch diese Gläser das Licht des Mondes concentriren, allein sie verursachen nur Licht, nicht Wärme, so daß man das Auge unbeschädigt in den Brennraum bringen kann. Diese Reihe von Versuchen ist zuerst von Tschirnhausen selbst angestellt worden.

Aehnliche Versuche wurden auch von Cadet, Brisson, Macquer und Lavoisier gemacht, wobei sie sich anfangs der Tschirnhausischen Brenngläser bedienten, nachher aber im Jahre 1774 sich eine andere Linse verfertigten, weil die Massen der Tschirnhausischen noch allzu viel Blasen und Streifen hatte. Dieses Brennglas bestand aus zwei nach einer Kugelfläche von 8 Schuh Halbmesser gekrümmten Gläsern, welche, an einander gesetzt, einen linsenförmigen Raum zwischen sich leer ließen, der 4 Schuh im Durchmesser hatte. Die Gläser selbst waren noch 8 Linien dick, daß also das Ganze im Mittelpunkt eine Dicke von 7 Zoll 9 Linien erhielt. Dieses Brennglas stand auf einem Gestelle, wo es leicht horizontal gewendet und anders gegen den Horizont geneigt, auch erhöht werden konnte, um stets der Bewegung der Sonne zu folgen. Der linsenförmige Raum, der ungefähr 140 Pariser Pinten hielt, ward anfänglich mit Weingeist, in der Folge aber mit Terpentinöl gefüllt, welches die Lichtstrahlen stärker bricht.

Wenn diese Linse mit Wachsleinwand bedeckt und nur in der Mitte ein Kreis von 6 Zoll Durchmesser offen gelassen ward, so bildete sich 10 Fuß 11 Zoll 5 Linien weit hinter dem Mittelpunkt ein wohlbegrenzter Brennraum von 14$\frac{3}{4}$ Linien Durchmesser. Je mehr man den Durchmesser der Oeffnung vergrößerte, desto näher rückte der Brennraum gegen die Linse hin und desto undeutlicher wurden seine Grenzen. Wenn hingegen das Mittel bedeckt und der Rand frei gelassen ward, so rückte der Brennraum

desto näher an die Linse hin, je enger der am Rand offen gelassene Ring war. War die Linse bis auf einen 6 bis 7 Linien breiten Ring am Rande ganz bedeckt, so fand man den Abstand des Brennraums 10 Schuh 0 Zoll 6 Linien, daß sich also die am Rande einfallenden Strahlen um 10 Zoll 11 Linien näher am Glase vereinigen, als diejenigen, welche der Axe nahe sind. Die Versuche lehrten auch, daß jene eine stärkere Hitze erregten, als diese.

Wenn gar keine Bedeckung gebraucht ward, so fand sich der wirksamste Punkt des Brennraumes 10 Schuh 10 Zoll 1 Linie weit vom Mittelpunkte der Linse.

Die Wirkungen dieser Glaslinse waren weit stärker, als die der Tschirnhausischen. Sie schmolz ohne Collectivglas in einer halben Minute kupferne Geldstücke, die ein der Akademie gehöriges Tschirnhausisches Brennglas nach 3 Minuten noch nicht in Fluß gebracht hatte. Mit einem Collectivglase von 8½ Zoll Durchmesser und 1 Schuh 10 Zoll 8 Linien Brennweite gab sie einen Brennraum von 8 Linien Durchmesser, in welchem Abgänge von geschmiedetem Eisen auf einer Kohle fast augenblicklich schmolzen, aufwallten und wie geschmolzener Salpeter verpufften, so daß die Funken wie bei einem Feuerrade herumsprühten. Das Eisen gab dabei einen brennenden Rauch von sich, der am untern Theil eine wahre Flamme war und verwandelte sich zuletzt in eine schwarze verglaste Schlacke. Durch allmähliges Hinzuthun konnte man nach und nach in wenigen Minuten ziemliche Massen von Eisen in Fluß bringen. Platina in Körnern schmolz auf einer Kohle, ohne jedoch recht flüssig zu werden und einen sphärischen Tropfen zu bilden.

Schon an dem Orte des Strahlenkegels, wo das Collectivglas stand, war die Hitze so heftig, daß ein darüber gedecktes Bret oft anbrannte, obgleich der

Kegel hier noch 8 Zoll breit war. Sonderbar schien es, daß dieses Bret an den Rändern des Strahlenkreises stärker versengt ward, als in der Mitte. Brisson schließt aus diesem letztern Umstande: die am Rande der Linse durchgehenden Strahlen gäben mehr Hitze, was sich aus dem Verluste der Wärme beim Durchgange der Strahlen durch dicke Massen allenfalls erklären ließe. Wahrscheinlicher ist es indeß, daß dieses von den minder brechbaren und daher am Rande des Lichtkegels befindlichen gelben und rothen Strahlen herrührte, welche mehr Wärme erregende Kraft besitzen, als die übrigen. — Die ungleiche Heiterkeit der Luft brachte in den Wirkungen des Brennglases eine große Ungleichheit hervor.

In England ist ebenfalls eine sehr vollkommene Brennlinse aus Flintglas von Parker verfertigt worden, welche 700 Pfund (etwa 4000 preußische Thaler) kostete. Sie hatte 3 englische Fuß Durchmesser, wog 212 Pfund und hatte eine Brennweite von 6 Fuß 8 Zoll; ihre Dicke betrug in der Mitte 3 Zoll.

§. 108.

Polyzonallinsen und Brennkugeln.

Zur Verfertigung sehr wirksamer Brenngläser that Büffon den Vorschlag, aus einer vollendeten Linse MN (Taf. XXI. Fig. 6) den in der Figur leer gelassenen Theil herauszuarbeiten, so daß man ein Glas erhält, welches nach außen hin aus mehrern Zonen (Ringen) besteht, wie Mgc, cea, fbd, hNd, in der Mitte aber aus einer vollständigen Linse ab. Daß eine solche Vorrichtung vor einem gewöhnlichen Brennglase Vorzüge besitzt, ist wohl nicht zu läugnen, da die Sonnenstrahlen durch keine so dicke Glasmasse hindurchzugehen brauchen, indeß ist sie nur im Kleinen ausführbar und also zu starken Brenngläsern nicht geeignet.

Deshalb that Brewster den Vorschlag, solche Linsen aus mehreren Stücken zusammenzusetzen und nennt sie vielzonige (Polyzonal-) Linsen, weil sie gleichsam aus mehreren Ringen oder Zonen bestehen. Jede Zone ist aber ebenfalls aus mehreren Stücken zusammengesetzt, welche die in Figur 8 dargestellte Form haben. In Figur 7 ist die Zusammensetzung der Linse, wie sie von vorn gesehen erscheint, abgebildet; in der Mitte steht die Converlinse 1, dann folgt eine Zone, die aus den vier Stücken 2, 3, 4, 5 besteht, dann eine zweite Zone, welche aus acht Stücken 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13 zusammengesetzt ist. Diesem Apparate gibt Brewster folgende Vorzüge vor den gewöhnlichen Brenngläsern:

1) Man bedarf nicht so großer ganz reiner Glasmassen, kann also aus einem großen Glasstücke den Theil, der recht rein ist, auswählen.

2) Eine zufällige Beschädigung zerstört nicht sogleich das ganze Glas und ist eher durch ein neues Segment zu ersetzen.

3) Die Abweichung wegen der Kugelgestalt kann größtentheils gehoben werden, weil man den Zonen eine solche Lage geben kann, daß ihre Brennpunkte nahe bei dem Brennpunkte der Mittellinse zusammenfallen.

4) Man kann diese Linsen nach und nach theilweise zu Stande bringen und sie schon gebrauchen, wenn auch noch nicht alle Stücke fertig sind.

5) Will man sich zum Schleifen der Segmente kleinerer Schaalen bedienen, so kann man jedes einzeln bearbeiten.

6) Wenn die Segmente nicht alle gleiche Brennweite haben, so ist es leicht, sie in den gehörigen Abständen vom Brennpunkte zu befestigen.

Eine solche Zonenlinse würde nach Brewster's Meinung eben nicht über 300 Pfund Sterling kosten,

wenn ihr Durchmesser 6 Fuß betrüge. Er erzählt in seiner Optik, daß eine Polyzonallinse von 5 Fuß Durchmesser als Brennglas durch die Freigebigkeit mehrerer Einwohner Calcuttas verfertigt werde, welche alle bisherigen Brenngläser weit übertreffen soll.

Noch bemerken wir hier die ebenfalls von Brewster vorgeschlagene Brennkugel (Taf. XXII. Fig. 1), welche nichts anderes ist, als eine Verbindung mehrerer Convexlinsen A, B, C, D, E von gleicher Brennweite, welche sämmtlich in der Oberfläche einer Kugel so aufgestellt sind, daß ihre Brennpunkte genau im Mittelpunkte F der Kugel zusammenfallen. Daher muß der Halbmesser der Brennkugel genau der gemeinschaftlichen Brennweite aller Linsen gleich seyn. Zur Seite sind ebene Spiegel TU, PQ, RS, VW aufgestellt, welche die Sonnenstrahlen senkrecht auf die Linsen bringen.

Es ist nun klar, daß auf diese Weise im Centrum der Kugel eine große Hitze entstehen muß, und obgleich bei der Zurückwerfung durch die Spiegel eine bedeutende Menge Licht und folglich auch Wärme verloren geht, so ersetzt doch die große Anzahl der Linsen diesen Abgang. Dazu kommt noch, daß kleine Linsen reiner, als große und dünner hergestellt werden, wodurch weniger Verlust an Licht beim Durchgange durch die Glasmassen stattfindet. Endlich ist die Abweichung wegen der Kugelgestalt und die Farbenzerstreuung bei kleinen Linsen geringer, als bei großen und wegen der geringern Brennweite werden die Strahlen in einen engern Raum zusammengebracht. Dieses alles gibt der Brennkugel einen Vorzug vor den Brenngläsern.

§. 109.

Leuchtgläser.

Convexe Linsengläser dienen auch zugleich als Leuchtgläser, indem sie das Licht, welches sie von

einer in ihrem Brennpunkte befindlichen Flamme erhalten, in parallelen Strahlen bis auf sehr große Entfernungen hinauswerfen. Zu diesem Zwecke hat man sich neuerdings der im vorigen §. beschriebenen Polyzonallinsen mit großem Vortheile bedient und sie thun viel bessere Dienste, als die schönsten Metallspiegel mit parabolischer Krümmung.

§. 110.

Die Camera obscura.

Wir haben schon bemerkt, daß man in einem verfinsterten Zimmer Bilder der außen befindlichen Gegenstände erhalten kann, wenn man in die runde Oeffnung eines Fensterladens ein Sammelglas setzt und hinter ihm die Strahlen in der Nähe des Brennpunkts mit einem weißen Schirm auffängt. Diese Bilder leiden nicht an der Undeutlichkeit, welche denen in der optischen Camera obscura, welche bloß eine sehr enge Oeffnung ohne Linsenglas hat, eigen ist. Soll der Versuch recht befriedigend seyn, so muß man ein Linsenglas von ungefähr 5 Fuß Brennweite und einer Oeffnung von 3 Zoll nehmen, damit die Bilder recht hell und lebhaft und nicht allzu klein ausfallen. Die Darstellungen der Camera obscura zeichnen sich durch die Schönheit und Harmonie der Farben, durch die Zartheit ihrer Umrisse und eine gewisse von der Unvollkommenheit der Gläser und Spiegel herrührende Weichheit des Bildes aus, welche der Malerspiegel oder die weiter unten zu beschreibende Camera lucida nicht gewähren. Sodann trägt das Bewegliche der Figuren ungemein viel zu ihrer Annehmlichkeit bei, so daß es Niemand gereuen darf, sein Zimmer auf diese Weise eingerichtet zu haben, wer die Aussicht auf einen freien, von der Sonne beschienenen Platz hat.

Das Bild erscheint bei dieser Einrichtung verkehrt. Um es aufrecht zu erhalten, stellt man hinter dem Glase noch ein dreiseitiges gläsernes Prisma, worin zwei Seiten einen rechten Winkel mit einander machen, so auf, daß der rechte Winkel nach unten gekehrt ist, die Hypothenusenfläche aber horizontal liegt. Wir haben die Weise, wie das Bild durch eine solche Vorrichtung umgekehrt wird, in §. 63 schon deutlich genug erklärt. Da solche Prismen, wegen der Schwierigkeit, große streifenfreie Glasmassen zu erhalten, nicht leicht in erforderlicher Größe zu finden sind, so dürfte es nicht unzweckmäßig seyn, die Prismen aus Tafeln von gutem Spiegelglase zusammenzusetzen und mit Wasser oder Weingeist zu füllen.

Auf dieselbe Weise läßt sich auch eine **Camera obscura** im Kleinen herstellen, wobei aber das Zimmer eben nicht sehr finster zu seyn braucht, sondern es bloß genügt, die Vorrichtung in einer dunkeln Ecke anzubringen. Die Wand wird trichterförmig ausgehöhlt, wie es in Fig. 2, Taf. **XXII.** zu sehen ist, und in die vordere Mündung ein Sammelglas **A** eingesetzt, dessen Brennweite ungefähr der Dicke der Mauer gleich ist. Hinter diesem Glase wird das Prisma **P** aufgestellt, mit dem rechten Winkel nach unten gekehrt und inwendig ein Rahmen **I** vor dem Loche aufgehängt, in welchem sich eine matt geschliffene Glastafel befindet. Auf dieser malen sich nun die außen befindlichen Gegenstände mit großer Nettigkeit aufrecht stehend ab, nur mit Verkehrung der Seiten, so daß die rechte Seite der Gegend zur linken gesehen wird, weil das Prisma nicht auch diesen Theil des Bildes wieder umkehrt. So hat man im Zimmer ein Gemälde, welches sich vor dem Erzeugnisse der Kunst dadurch vortheilhaft auszeichnet, daß es zugleich die natürlichen Bewegungen mit großer Anmuth nachahmt.

§. 111.

Wenn die Camera obscura zum Abzeichnen von Landschaften dienen soll, so muß sie sich leicht transportiren lassen und wird daher tragbar genannt. Man hat mancherlei dergleichen Vorrichtungen, unter denen wir vorzüglich drei bemerken wollen.

Die erste, welche den Namen der tragbaren Camera obscura vorzugsweise führt, ist Taf. XXII. Fig. 3 abgebildet. Sie besteht aus einem Kasten von Bretern AABB, auf dessen horizontaler Fläche AA das Bild entworfen wird. Diese Breter können in Charnieren beweglich seyn, so daß das Ganze sich in eine mäßig große Schachtel AABB zusammenklappen und dadurch leichter transportiren läßt. Dieses Gehäuse kann auch aus Stäben bestehen, die mit einem dichten, überall genau anschließenden Mantel umgeben sind. Auf dem unteren Kasten ist noch ein zweiter befestigt, welcher sich mittels eines Getriebes, das in eine gezahnte Stange eingreift, nach Bedürfniß auf- und niederschieben läßt, je nachdem das Bild in größerer oder kleinerer Entfernung vom Sammelglase L entsteht. Im oberen Kästchen ist ein ebener Spiegel ss befindlich, welcher sich um eine Axe drehen läßt, an welcher der Knopf d befindlich ist, mittels dessen man eben dem Spiegel die erforderliche Neigung gibt. Dieser Spiegel fängt die von den Gegenständen herkommenden Strahlen auf und wirft sie auf das ebenfalls im obern Kästchen befindliche Sammelglas L, welches ein Bild auf dem Boden AA des Gehäuses entwirft. Das ganze Gehäus ist inwendig, wie alle optischen Instrumente, mit schwarzer, aber nicht glänzender Farbe angestrichen, damit alles Licht, welches auf die Wände fällt, verschluckt wird und sich nicht durch die Reflexion mit den Strahlen des Bildes vermische und dessen Deutlichkeit Eintrag thue.

Der Spiegel kann ein Glasspiegel seyn, nur darf er nicht die Längenfurchen der meisten Glasspiegel haben und muß überhaupt gut gearbeitet seyn. Man kann sich von seiner Tauglichkeit leicht überzeugen, wenn man die in ihm abgebildeten, etwas entlegenen Gegenstände durch ein Fernrohr betrachtet, welches nicht allzu stark vergrößert. Bleiben da die Bilder noch deutlich, so ist der Spiegel gut.

Statt des Linsenglases bei L kann man sich auch eines rechtwinkligen Prismas CAB bedienen, dessen eine Kathete AC nach einer Kugeloberfläche abgeschliffen ist. Diese Vorrichtung dient als Planconvexlinse und als Spiegel zugleich, wie wir in §. 104 umständlich gezeigt haben. Das Prisma steht nun an der Stelle des Spiegels ss, Taf. XXII. Fig. 3 und die convexe Kathete AC wird dem Gegenstande zugekehrt und dabei die Einrichtung so getroffen, daß sich das Prisma um eine auf der Wand ABC (Tafel XXV. Fig. 1) senkrecht stehende Axe dreht, so daß man ihm jede beliebige Neigung geben kann. Die Hypothenusenfläche BC läßt die Strahlen nicht durch, sondern reflectirt sie ohne Lichtverlust nach dem Boden der Camera obscura.

Man kann nun das Gehäuse der Camera obscura so groß machen, daß einige Menschen mit Bequemlichkeit darin Platz haben und das Bild zu gleicher Zeit betrachten können, wo es dann die Form eines runden Thürmchens hat, in welches man mittels einer Thür gelangt, welche man dicht verschließen kann. Solche Vorrichtungen werden mitunter zur öffentlichen Schau herumgeführt und bei ihnen läßt sich der obere Aufsatz, in welchem sich Spiegel und Sammelglas befinden, nach allen Seiten hin drehen, damit man Bilder von der ganzen Umgegend erhalten kann. Die Drehung läßt sich leicht mittels eines Räderwerks herstellen.

Wenn aber die Camera obscura bloß für den Zweck hergerichtet wird, um eine Landschaft in allen ihren Theilen richtig abzuzeichnen, so braucht sie nicht in so großem Maasstab ausgeführt zu seyn, sondern es genügt eine solche Höhe, daß ein Sammelglas von etwa 30 Zoll Brennweite erfordert wird. Die Seite, von welcher der Beobachter hineinsehen muß, um das Bild aufrecht zu erblicken, also die nach dem Gegenstande zugekehrte Seite des Gehäuses, wie man aus der Vergleichung des Objects FG mit seinem Bilde fg sogleich sieht, wird so weit ausgeschnitten, daß ein Mensch mit Kopf und Hand bequem hineinkommen kann. Der Beobachter hängt dann über seinen Rücken ein am Gehäuse befestigtes Tuch, um hier das Eindringen des Lichts zu verhindern.

Nach Wollaston's Vorschlage soll die Linse der Camera obscura ein Meniskus seyn, dessen concave Seite dem Gegenstande zugekehrt ist und nach Cauchoix Erfahrung soll sich der convexe Krümmungshalbmesser zum hohlen, wie 5 zu 8 verhalten. Hieraus folgt, daß für eine gegebene Brennweite p seyn müsse

der Halbmesser der convexen Krümmung $\frac{3(n-1)p}{8}$,

— — — hohlen — $\frac{3(n-1)p}{5}$,

wo n das Brechungsverhältniß des Glases bedeutet.

Da hier eine oberflächliche Rechnung genau genug ist, so wollen wir das Brechungsverhältniß $= \frac{3}{2}$ annehmen und daraus ergibt sich denn das Resultat:

Der Halbmesser der convexen Krümmung muß $\frac{3}{16}$, der der hohlen aber $\frac{3}{10}$ von der verlangten Brennweite seyn.

Bei einer großen Camera obscura werden die Bilder am Rande der Tafel deutlicher, wenn diese nach einem Krümmungshalbmesser ausgehöhlt ist, wel-

cher so groß ist, als die Brennweite der zur Vorstellung der Bilder angewandten Linse.

Büsch erinnert, die im Ganzen nützliche Camera obscura könne doch den Maler verführen, indem der, der sich blindlings daran halte, wirklich schlecht zeichne und das Auge nicht gehörig täusche. Die Camera obscura entwerfe die Objecte bloß nach dem Verhältnisse der Gesichtswinkel, die Seele aber beurtheile das Gesehene nicht nach den Gesichtswinkeln allein, sondern zugleich nach andern Datis. Wer also richtig zeichnen wolle, müsse die Gegenstände nicht so ausführen, wie sie sich in der Camera obscura entwerfen, sondern so groß, wie sie der Seele nach ihrem aus allen Datis bestimmten Urtheile vorkommen. Er müßte das Bild blos nützen, die Lage und Ordnung der Objecte zu bestimmen, nachher müsse er die Natur selbst studiren, um ihr das Bild in Allem ähnlich zu machen. Klügel ließ in der Camera obscura eine Anzahl kleiner Gärten mit einer dahinter liegenden Reihe hoher Häuser sich abbilden. Dabei schien alles dicht hinter einander zu liegen, die Häuser viel zu nahe, zu deutlich in den kleinen Theilen, z. B. den Dachziegeln, zu lebhaft in den Farben und wie es ihm vorkam, auch zu groß. Das Helldunkel des Baumschlags hingegen fiel sehr natürlich aus.

§. 112.

Eine zweite Art der Camera obscura wird in der Regel nur im kleineren Maasstab ausgeführt, als die vorige und besteht aus zwei inwendig geschwärzten Kasten A und B (Taf. XXII. Fig. 4), von welchen sich der eine in den andern verschieben läßt. Der kleinere verschiebbare Kasten hat in der Mitte der vordern Wand ein Loch, in welches eine Linse L eingesetzt ist, deren Brennweite nach sogleich bekannt werdenden Verhältnissen abgemessen werden muß. An

der Hinterseite des Kastens befindet sich ein unter 45 Grad geneigter Spiegel ss, welcher die durch das Sammelglas L gebrochenen Strahlen auffängt und gegen die obere Wand des Kastens wirft, woselbst sich auf einer mattgeschliffenen, in die Wand des Kastens eingelegten Glastafel die Gegenstände abbilden, so daß das Bild des Objectes FG die Lage fg hat. — Statt der mattgeschliffenen Glastafel kann man auch ein geöltes Papier, das auf einem Rahmen ausgespannt ist, oder noch besser, nach Brewster's Vorschlag, eine durchsichtige Glastafel nehmen, auf welcher man eine Schicht abgerahmter Milch hat trocken werden lassen. Damit aber das Bild ins Dunkle gebracht und deutlich gesehen werden kann, befindet sich über ihm das Dach DE mit den viertelkreisförmigen Seitenwänden DHE, welches um eine Axe beweglich ist und sich niederlegen läßt, sobald man von dem Instrumente keinen Gebrauch mehr machen will.

Hier findet freilich nicht die große Dunkelheit statt, wie bei der Camera obscura und das Bild kann daher auch nicht so lebhaft erscheinen; indessen ist das Bild doch noch deutlich genug, um seine Abrisse nachzeichnen zu können und man hat auch nicht, wie bei der Camera obscura, die Unbequemlichkeit zu fürchten, welche der Schatten des Bleistifts verursacht, weil das Licht von unten herauffällt.

Es sind nicht gerade zwei in einander verschiebbare Kästen nöthig, sondern man braucht bloß das Glas L in eine kurze Röhre zu setzen, welche sich in der Wand des Kastens ein- und ausziehen läßt. Die Linse ist eben ein solcher Meniskus, wie bei der Camera obscura und kann 20 bis 30 Zoll Brennweite haben. — Der größere Kasten A muß so groß seyn, daß, wenn der kleinere in ihn ganz hineingeschoben wird, die Weite von der Linse bis zur Mitte des

Spiegels und von da bis an den Ort, wohin das Bild fallen soll, der Brennweite der Linse gleich ist, und der kleinere Kasten muß sich so weit ausziehen lassen, daß Raum genug vorhanden ist, um die Bilder näher gelegenen Gegenstände, die über den Brennpunkt der Linse hinausfallen, deutlich auf der Glastafel sichtbar zu machen.

§. 113.

Die Camera clara besteht ebenfalls, wie die im vorigen §. beschriebene Camera obscura aus zwei in einander verschiebbaren Kästen, mit der Linse L (Taf. XIII. Fig. 1) und dem unter 45 Grad geneigten ebenen Spiegel ss, doch ist die Einrichtung so gemacht, daß das Bild nicht mit einer mattgeschliffenen Glastafel aufgefangen wird, sondern mitten in den Kasten, etwa wie fg zu liegen kommt. Oben befindet sich statt der Glastafel ein Linsenglas A von einer mittelmäßigen Brennweite, etwa 8 Zoll, wenn die des Glases L 16 bis 30 Zoll beträgt, und die ganze Anordnung ist so gemacht, daß das Bild fg in den Brennpunkt der Linse A fällt. Ein Auge also, das über A sich befindet, empfängt die Lichtstrahlen parallel und muß daher den Gegenstand FG, von dem sie kommen, deutlich sehen.

Diese Einrichtung ist eigentlich, wie wir später sehen werden, nichts weiter, als ein astronomisches Fernrohr von nur schwacher Vergrößerung, wobei der Fortgang der Strahlen durch den Spiegel ss, welcher sie nach dem Glase A zu wirft, unterbrochen worden ist. Man sieht also nicht die Entwerfung des Bildes auf einer Fläche, wie bei den vorigen Einrichtungen, sondern das Bild fg selbst durch das Glas A hindurch und es kann daher diese Vorrichtung auch nicht zum unmittelbaren Nachzeichnen der Bilder, sondern nur zu einer bessern Vergleichung der

einzelnen Theile des Bildes ihrer Lage nach dienen. Es scheinen dem Beobachter die Gegenstände auf der Fläche des Glases A zu schweben, wenn sein Auge den richtigen Standpunkt getroffen hat, den man übrigens leicht durch Versuche finden kann. Jedenfalls muß das Auge weiter von dem Glase A abstehen, als dessen Brennweite. — Dieses Glas muß auch eine große Oeffnung haben, damit man recht viel Gegenstände mit einem Mal übersehen kann.

Die Camera clara hat vor den vorigen dunkeln Kammern den Vortheil, daß die Bilder sehr lebhaft erscheinen, selbst dann noch, wenn die Landschaft nicht von der Sonne beschienen wird, in welchem Falle die Camera obscura nur sehr dunkle Bilder liefert. Der Grund davon liegt darin, daß die weiße Fläche, auf welcher das Bild sich entwirft, ungemein viel Licht verschluckt, während bei der Camera clara das Licht beim Durchgange durch das Glas A nur wenig von seiner Stärke verliert.

§. 114.

Die Camera lucida.

Dieses Instrument besitzt zwar keine Linsengläser, durch welche, wie bei den vorigen Vorrichtungen, Bilder hervorgebracht würden, indessen ist doch hier der geeignetste Ort, es zu beschreiben, da es in der Reihe der optischen Werkzeuge fast ganz isolirt dasteht. Die Einrichtung beruht der Hauptsache nach auf Folgendem: Wenn man eine durchsichtige Glastafel MN (Taf. XXVI. Fig. 4) gegen einen horizontalen Tisch TT unter einen Winkel von 45° neigt, so sieht ein Auge bei O den vertikalen Gegenstand AB bei ab horizontal auf dem Tische liegen, indem die von AB kommenden Strahlen von der Vorderfläche der Glastafel zum Theil nach O zurück-

geworfen werden. Wegen der Durchsichtigkeit der Tafel kann man aber auch einen bei ab hingehaltenen Bleistift zugleich mit erkennen und folglich, wenn ein weißes Papier untergelegt ist, auf diesem die Umrisse des Objects AB genau nachzeichnen. — Allein diese Vorrichtung ist mancherlei großen Mängeln unterworfen, denn einmal ist die umgekehrte Lage des Bildes ab der deutlichen Auffassung hinderlich und dann bringt auch jede Verrückung des Auges die Umrisse des Bildes auf eine andere Stelle des Papiers, wodurch das Nachzeichnen fast unmöglich gemacht wird. Auch ist bei durchsichtigen Flächen die Spiegelung nur unvollkommen und wegen der doppelten Bilder leicht auch undeutlich.

Allen diesen Mängeln hat Wollaston abgeholfen, indem er das Bild zweimal reflectirt werden ließ durch die Spiegel MN und PQ (Taf. XXVI. Fig. 5), wobei, wie man aus der Zeichnung leicht sieht, der Punkt A in a und der Punkt B in b gesehen wird und daher das Bild aufrecht erscheint. Die beiden Spiegel sind von Metall und oben ist in einer Deckelplatte zum Durchsehen nur ein kleines Loch O offen gelassen, damit das Auge immer den richtigen Standpunkt behalte. Diese Deckelplatte kann verschoben werden, so lange, bis die Pupille des Auges von der Kante Q des Spiegels PQ halbirt wird, damit sowohl reflectirtes Licht vom Spiegel PQ, als auch Licht von dem bei ab liegenden Papiere ins Auge dringen kann. Dadurch wird man, wenn man sich durch mehrere Uebung einige Fertigkeit erworben hat, gar leicht bei ab die Landschaft und die dorthin gehaltene Bleifeder erblicken und die Umrisse mit großer Genauigkeit nachzeichnen können. — Die Neigung der beiden Spiegel gegen einander beträgt ohngefähr 135°.

Wollaston gebrauchte statt der Metallspiegel ein gläsernes Prisma von der Form in Fig. 1 (Tafel XXVII.), bei welchem die Flächen **b c** und **b a** die Strahlen nicht durchlassen, sondern sie ohne Lichtverlust aufwärts nach dem Auge reflectiren, welches durch das in der Deckelplatte **d d** befindliche Löchelchen p so sieht, daß die Pupille durch die Kante a des Prismas halbirt wird. Das Ganze kann wegen der Nähe des Auges ungemein eng zusammen gezogen werden, so daß ein Prisma, dessen spiegelnde Flächen etwa 3 Linien Breite haben, seinem Zwecke vollkommen genügt.

Wie weit man das Papier vom Prisma zu entfernen habe, ist zwar willkührlich, doch sollte diese Entfernung nicht über $1\frac{1}{2}$ Fuß und nicht unter $\frac{1}{2}$ Fuß betragen; die erstere Distanz wird durch die Länge des Arms bedingt, welcher der freien Bewegung halber nicht ganz ausgestreckt seyn darf, wobei wegen der vorgeneigten Lage des Kopfs das Auge in die Höhe der Schulter zu stehen kommt; der letztere Abstand liefert dann, wenn die Objecte weit entfernt sind, allzukleine Bilder, bei welchen die Umrisse nicht mit der erforderlichen Schärfe nachgezeichnet werden können. Denn die Größe der Projection auf dem Papiere verhält sich zur wahren Größe des Gegenstandes wie der Abstand des Papiers vom Prisma zur Entfernung des Gegenstandes vom Prisma. Demnach ist z. B. das Bild dem Gegenstande gleich, wenn Papier und Gegenstand gleich weit vom Prisma abstehen; und wenn der Gegenstand doppelt so weit entfernt ist, als das Papier, so ist sein Bild nur halb so groß u. s. w.

Die vollständige Abbildung des Instruments ist auf Taf. XXVII. Fig. 2 zu sehen. Das Prisma **P** ist an einem Arm a angebracht, welcher in einer etwa 10 Zoll langen cylindrischen Röhre steckt, die

ihm gleichsam als Verlängerung dient. Die Deckelplatte d ist um ein Schräubchen beweglich und kann vermittelst eines hervorragenden Stiels leicht hin und her geschoben werden, um dem Sehloche in jedem Falle die gehörige Lage zu geben, damit nach Befinden mehr Licht bald vom Gegenstande, bald vom Papier ins Auge dringt. Als Fußstück dient ein messingerner Klotz, in welchem die Röhre um einen Zapfen beweglich ist, um ihr in jedem Falle die erforderliche Neigung zu geben. Statt des Klotzes pflegte man auch eine etwas plump gearbeitete messingerne Schraubenzwinge zu gebrauchen, mit welcher das Instrument an einen Tisch oder an ein Bret angeschraubt werden kann. — Kurzsichtige müssen vorn am Prisma ein für ihr Auge passendes Hohlglas anbringen, um die entferntern Gegenstände deutlich zu sehen; hier werden also die Strahlen, ehe sie in das Prisma eintreten, durch das Hohlglas in divergirende Richtungen gebrochen. Weitsichtige, welche die Spitze der Bleifeder und die Umrisse auf dem Papiere der Nähe wegen nicht würden erkennen können, bedienen sich eines geeigneten Converglases, welches unten am Prisma angebracht ist, damit sie durch dasselbe das Papier erblicken. Die Art, wie beide Gläser am Prisma angebracht sind, ist aus der Zeichnung ersichtlich.

Die Camera lucida ist ganz vorzüglich bei Entwerfung von Landschaften brauchbar und dient auch dem geschickten Künstler zu einer schnellern Anordnung der einzelnen Theile seiner Zeichnung. Ganz besonders wichtig ist sie bei der Darstellung von architectonischen Gegenständen, indem sie alle Theile in ihrer gehörigen Verkürzung gerade so zeigt, wie es die Gesetze perspectivischer Zeichnungen erfordern. Wer mit dem Gebrauche des Instruments vertraut ist und sonst zeichnen kann, kann sogar mittels desselben menschliche Figuren nachzeichnen, Gemälde und

Landkarten copiren u. s. w. Dabei hängt, wie schon bemerkt worden, die Größe der Copie von der Entfernung des Originals und des Papiers vom Prisma ab; man darf aber dabei nicht vergessen, daß man eben so wenig den Sehwinkel der Zeichnung zu sehr ausdehnen darf, als bei der perspectivischen Entwerfung eines Gegenstandes nach geometrischer Zeichnung, denn sonst würden die Bilder am Rande zu verzerrt ausfallen. Im Ganzen nehmen die Bilder, welche die Camera lucida liefert, den Raum eines Quartblatts ein, allein nur ein Viertheil dieses Raums, der diejenigen Gegenstände abbildet, welchen das Instrument gerade gegenüber steht, bildet sie in gleicher Ausdehnung ab.

Beim Gebrauche hat man vorzüglich darauf zu sehen, daß man den Kopf hinreichend vorwärts neige, ganz senkrecht hinunter sehe und das Auge möglichst nahe auf das Prisma halte. Die Deckplatte d, welche der eigentliche Regulator der Maschine ist, muß für jeden einzelnen Gegenstand, seiner stärkern oder schwächern Beleuchtung gemäß, gehörig verschoben werden und man wird durch Uebung und durch Vortheile, die man durch Erfahrung gewinnt, leicht die Schwierigkeiten beseitigen lernen, welche man findet, um fortwährend das Bild und die Bleifeder deutlich zu sehen.

Die Camera lucida läßt sich auch bequem bei Mikroscopen und Fernröhren anbringen, um vergrößerte Gegenstände zu entwerfen, nur muß die Röhre der erstern eine horizontale Lage erhalten. Man kann das Prisma nur mit etwas Wachs an die äußere Blendung des Oculars kleben, oder es überhaupt so befestigen, daß es sich um seine Längenaxe drehen lasse und vor dem Ocular auf- und niedergeschoben werden könne. Bei Gegenständen, wo die aufrechte Stellung nicht wesentlich ist, kann man auch bequem ir-

gend eine schmale reflectirende Fläche gebrauchen, die unter einem Winkel von etwa 45° geneigt ist. Auf diese Weise verfertigte Sömmering seine mikroscopische Zeichnung von Theilen der menschlichen und thierischen Augen mittels eines Stahlplättchens, welches die Deckplatte der Unruhe in einer Uhr gewesen war und wurde bei dieser Gelegenheit der Erfinder des nach ihm benannten (Sömmeringschen) Spiegelchens, der kleiner ist als die Pupille und elliptische Form hat, um in ihm abgespiegelte Gegenstände und neben ihm vorbei zugleich ein Papier zu erblicken.

§. 115.

Der große italienische Optiker Amici fand es beschwerlich, nach der Wollastonschen Einrichtung das Bild und die Bleifeder zugleich zu sehen und kehrte zu der im Anfange des vorigen §. beschriebenen durchsichtigen Glasplatte zurück. Nach seinem ersten Vorschlage, den er mit Lüdike gemein hat, ist **DC** (Taf. **XXVII.** Fig. 3) ein Metallspiegel und **AB** die durchsichtige Glasplatte, deren Vorderfläche die ihr vom Spiegel **DC** zugeworfenen Strahlen nach dem Auge reflectirt, das zugleich durch die Glasplatte das Papier erblickt. Lüdike machte, um die Unannehmlichkeit der doppelten Bilder zu vermeiden, die Glasplatte möglichst dünn, Amici aber gab ihr eine Dicke von 3 Linien und schliff die Stellen der Hinterfläche, an denen die schädlichen Reflexionen statt fanden, matt. Gesetzt, der Strahl **mn** werde nach **o** reflectirt, so wird ein Theil derselben in der Richtung **op** ins Auge gehen, während dem der andere nach **p** und von da nach **r** gebrochen wird, um in der Richtung **rs** ins Auge zu gelangen. Sind die Glasflächen genau parallel, so werden auch die Strahlen **op** und **rs** parallel gehen und es entsteht keine Undeutlichkeit; ist aber das Glas nur ein wenig prismatisch, so werden die

Bilder doppelt; es ist daher rathsam, die hintere Fläche, die oberhalb q doch von keinem Nutzen ist, entweder matt zu machen oder in der Richtung q r ganz wegzuschneiden. Um einen vollkommenen Parallelismus zu erhalten, gibt Amici den Rath, das Glas AB aus zwei flachen Prismen zusammen zu setzen, die dann gehörig gegen einander geneigt werden können.

Nach einer zweiten Einrichtung setzt Amici den Spiegel BD (Taf. XXVII. Fig. 4) hinter die Glasplatte AB. Die Strahlen des Objects in m gehen daher durch die Glasplatte bis auf den Spiegel bei n, werden von da wieder auf die Glasplatte reflectirt und von da aus o in das Auge. Bei dieser Einrichtung erleiden zwar die Strahlen während des Durchgangs durch die Glasplatte einen Lichtverlust, allein dieser wird reichlich aufgewogen durch das große Gesichtsfeld, das mit dieser Construction verbunden ist. Auch kann man, da die Strahlen bei n nahe senkrecht auffallen, einen Glasspiegel gebrauchen, da unter dieser Bedingung keine doppelten Bilder wahrgenommen werden.

In Amicis dritter Einrichtung wird die Glastafel AB (Taf. XXVII. Fig. 5) unter einem Winkel von 45° geneigt und die Umkehrung des Bildes durch ein vorgestelltes rechtwinkliges Prisma C bewirkt, dessen Hypothenusenfläche die Strahlen reflectirt (§. 63). Hier räth Amici auch, statt der Glastafel einen kleinen Metallspiegel von elliptischer Form zu nehmen, der kleiner als die Pupille ist und an einem sehr dünnen Stiele befestigt seyn muß.

Amicis vierte Einrichtung endlich unterscheidet sich von der ersten nur dadurch, daß der Metallspiegel durch ein Prisma ersetzt wird, dessen Hypothenusenfläche CD (Taf. XXVII. Fig. 6) eben den Spiegel ausmacht. Bei dieser Einrichtung ist vor Allem darauf zu sehen, daß keine Strahlen vom Prisma

selbst aus der Gegend von n' ins Auge gelangen, und diesem sucht Amici durch ein oben angebrachtes Blech zu begegnen, welches durch einen darin befindlichen Einschnitt dem Auge nur bis auf die nöthige Distanz hineinzublicken gestattet. Dieses Instrument ist, wie es in seiner Fassung sich ausnimmt, in Figur 7. abgebildet, mit den Convex- und Concavgläsern, die zur Unterstützung Weit- oder Kurzsichtiger dienen. Die Figur bedarf keiner weitern Erläuterung.

Es ist indessen bei allen diesen Einrichtungen Amicis dennoch nicht leicht, immer die Bleifeder gehörig im Auge zu halten, besonders wenn die Gegenstände, welche abgebildet werden sollen, in grellem Sonnenlichte strahlen. Man hat zwar vorgeschlagen, das zu grelle Licht durch zwischen gestellte gefärbte Gläser zu mildern, die auf gleiche Weise am Instrument angebracht seyn könnten, als die erwähnten Brillengläser; allein durch dieses Mittel gelingt es doch immer nur, einen bestimmten Grad der Schwächung hervorzubringen, und wenn dieser nicht ausreicht, so muß man sich auf mancherlei andere Weise helfen, z. B. die Erleuchtung des Papiers verstärken, oder auch dämpfen, wenn die Gegenstände matter erleuchtet seyn sollten. Bei Wollaston's Einrichtung dagegen ist es gar leicht, den Regulator so zu stellen, daß jedesmal die rechte Lichtmenge, sowohl von den Gegenständen, als auch von dem Papier ins Auge kommt.

§. 116.

Der optische Kasten mit schiefliegendem Spiegel (Guckkasten).

Dieses optische Spielwerk besteht aus einem Kasten von angemessener Größe, mit einem unter einem Winkel von 45° geneigten Planspiegel. Auf dem Boden desselben werden nach den Gesetzen der Per-

spective gut ausgeführte Ansichten von Landschaften, Gebäuden u. dergl. gelegt, welche im Spiegel aufrecht erscheinen, wenn man durch ein Loch in der Vorderseite des Kastens hineinsieht. Damit man die Ansichten leicht verändern kann, so sind die Gemälde an einander geklebt, so daß sie einen langen Streifen bilden und werden alsdann mittels zweier Rollen fortgezogen. Die eine Seite des Kastens ist nur mit einer dünnen Gaze verschlossen, damit zur Beleuchtung der Bilder am Tage hinlängliches Licht eindringt, des Nachts kann man die Erleuchtung durch Kerzen zu Wege bringen, die man in den Kasten hineinsetzt. In dem Loche, durch welches das Bild betrachtet wird, befindet sich ein Sammelglas von etwas großer Oeffnung, dessen Brennweite gerade so groß seyn muß, als der Abstand der im Spiegel sich darstellenden Scheinbilder vom Loche. Die Landschaften erscheinen dann vergrößert und ahmen die Natur getreuer nach, als das bloße Bild, was jedenfalls daher kommt, daß der Zuschauer von dem, was er eigentlich sieht, keine genaue Kenntniß hat und sein Urtheil daher leicht getäuscht wird. Wenn man aber wiederholt das Gemälde unmittelbar und dann mittels des Sammelglases im Spiegel betrachtet, so verschwindet die angenehme erste Täuschung größtentheils.

Man kann diese Vorrichtung mehrfach abändern oder vervollkommnen, indem man z. B. die gemalte Landschaft in den Hintergrund setzt, vor derselben aber, wie in einem Theater, Coulissen anbringt; hierbei muß das Gemälde genau im Brennpunkte des Sammelglases stehen. Man kann auch mehrere Sammelgläser von gleicher Brennweite anbringen, damit mehrere Personen zugleich in den Kasten sehen können, oder auch den Spiegel weglassen und das Gemälde unmittelbar in den Brennpunkt des Glases hängen, welches besonders bei großen Vorrichtungen der

Art der Fall ist. Auch kann man statt des Planspiegels einen Hohlspiegel nehmen und das Auge nahe in dessen Brennpunkt stellen, wobei es aber rathsam seyn dürfte, die Oeffnung zum Hineinsehen mit einem Planglase zu verschließen.

§. 117.

Die Zauberlaterne (Laterna magica).

Dieses Instrument dient, wie der Guckkasten, lediglich zur Belustigung; es werden mittels desselben Bilder in Lebensgröße auf einer weißen Wand vorgestellt. Es besteht gewöhnlich aus einem viereckigen Kasten ABCD (Taf. XXVIII. Fig. 1) von weißem Blech, welcher oben bei R eine Abzugsvorrichtung für den Rauch der Lampe L und an der einen Seite eine Thür hat, um ihn nach Belieben öffnen und verschließen zu können. An der Hinterseite ist ein Hohlspiegel H angebracht und ihm gegenüber ein Sammelglas G von großer Oeffnung und nicht gar großer Brennweite, zwischen beiden aber brennt die Flamme einer Archand'schen Lampe L. Der Hohlspiegel L ist aus Blech geschlagen und wohl polirt. Die Lampe L wirft unmittelbar Strahlen auf das Sammelglas G, aber auch auf den Hohlspiegel L, von wo aus sie ebenfalls auf das Glas G gewiesen werden. Auf diese Weise geht sehr viel Licht durch das Glas G, wodurch diese Vorrichtung geschickt wird, einen Gegenstand stark zu erleuchten. Der Kasten hat vorn bei O eine runde Oeffnung, ungefähr von der Größe des Glases G, und vor diesem Loche befindet sich der blecherne Steg aa, in welchem die Röhre MNPQ mit den zwei Sammelgläsern MQ und NP befindlich ist, durch welche die Lichtstrahlen nach ihrem Durchgange durch das Glas G ihren Weg ungehindert fortsetzen können.

Durch die enge Spalte e zwischen der Wand des Kastens und dem Stege aa werden Glasscheiben S, S geschoben, auf welche mit durchsichtigen hohen Farben allerlei Figuren von phantastischem Ansehen gemalt sind, wobei diese Figuren verkehrt zu stehen kommen. Die beiden Gläser MQ und NP wirken nun wie ein einziges Sammelglas und entwerfen an der Wand TT ein vergrößertes Bild der auf den Glastafeln befindlichen Figuren, welches in natürlichen Farben erscheint, da die Farben des Gemäldes transparent sind. Am einfachsten wird die Sache, wenn man sich die Linse MQ weggenommen denkt. Steht dann das Gemälde der Glastafel etwas weniges weiter von der Linse NP ab, als deren Brennweite, so wissen wir aus §. 82, daß in der gehörigen Entfernung ein verkehrtes (jetzt also aufrechtes) Bild jenes Gemäldes entworfen wird. Die Zauberlaterne entwirft also Bilder naher Objecte, während die Camera obscura Bilder entfernter Objecte darstellt. Man kann in der That auch die Laterna magica mit dem einzigen Linsenglase NP ausführen, auch fehlt in der Regel (bei den im Handel vorkommenden Exemplaren) die Erleuchtungslinse G. Das Glas MQ wird nur zur Verstärkung der Wirkung beigefügt, und damit man immer bei einer gegebenen Entfernung des Instruments von einer weißen (oder mit einem weißen Tuche behängten) Wand ein deutliches Bild erhalte, kann der Abstand der Gläser MQ und NP verändert werden, zu welchem Zwecke das Glas NP in einer Röhre befindlich ist, die in der Röhre, in welcher das Glas MQ festsitzt, verschoben werden kann. Der Röhre des Glases MQ wird in den cylindrischen Ansatz des Steges aa gesteckt, so daß beide Gläser vom Stege wieder abgenommen werden können, wenn das Instrument nicht mehr gebraucht wird.

Die drei Linsen der Zauberlaterne sind sämmtlich biconvex und haben mittelmäßige Brennweiten, damit man ihnen große Oeffnungen geben kann und die Bilder so lichtvoll als möglich erscheinen. Die Brennweite der Linse MQ wird größer genommen, als die der Linse NP. Man könnte z. B. der Linse MQ 5 Zoll und der Linse NP 4 Zoll Brennweite geben und den Abstand beider etwas geringer, als 4 Zoll machen. Befindet sich z. B. das Gemälde in einem Abstande von $\frac{1}{2}$ Zoll vom Glase MQ und ist der Abstand eben dieses Glases vom Glase NP = $\frac{33}{9}$ Zoll, so liegt das Bild in einer Entfernung = 76 Zoll vom Glase NP und erscheint 18 mal vergrößert.

Die Glastafeln, auf welchen die transparenten Bilder befindlich sind, werden mit einem Rahmen von Papier eingefaßt; statt dessen kann man aber in ein dünnes Bretchen runde Löcher schneiden und in dieselben Glasscheiben mit mannichfaltigen Bildern einsetzen. Auf der Wand bildet sich ein runder lichter Kreis, in welchem die Figuren erscheinen. Schauerlicher wird die Vorstellung, wenn man den übrigen Glasgrund mit dunkler undurchsichtiger Oelfarbe bemalt, damit die Bilder auf vollkommen dunklem Grunde gesehen werden. Ueberhaupt lassen sich mit der Laterna magica gar mannichfaltige Vorstellungen aufführen; so kann man z. B. das Bild auf einen transparenten Schirm fallen und von den Zuschauern von vorn betrachten lassen. Dabei kann man das Instrument dem Schirme nähern oder von ihm entfernen, so daß die Bilder bald riesengroß erscheinen, bald auch in ein Flämmchen verschwinden. Wenn hierbei das Bild immer gehörige Deutlichkeit besitzen soll, so muß das Glas NP herausgezogen werden, wenn man das Instrument dem Schirme nähert, dagegen dem Glase MQ näher kommen, in dem entge-

gengesetzten Falle. Zu diesem Behufe schlägt Brewster vor, die Laterna magica auf Rädern gehen zu lassen und eine solche Vorrichtung anzubringen, daß, wenn das Instrument bewegt wird, die Röhre des Glases NP hineingeschoben oder herausgezogen wird. — Auch allerhand bewegliche Erscheinungen lassen sich vorstellen, z. B. ein Seesturm, wobei man zwei bemalte Gläser zugleich haben muß, die gegen einander bewegt werden. Oder wenn man eine sich drehende Windmühle vorstellen wollte, so müßte man auf ein Glas das Mühlengebäude und auf eine zweite runde Scheibe, die mittels einer leicht herzustellenden Vorrichtung sich umdrehen kann, die Windmühlenflügel malen. — Endlich bemerken wir noch, daß man das Bild der Zauberlaterne mit einer dicken Rauchsäule auffangen kann, die man erhält, indem man ein rauchgebendes Pulver auf eine Kohlenpfanne streut. Dieses läßt sich zu allerhand abentheuerlichen Experimenten, z. B. Geisterhervorrufungen u. s. w. benutzen.

Da bei dieser Gelegenheit der Argand'schen Lampe Erwähnung gethan worden, so bemerken wir nur kurz, daß diese Lampe sich von den übrigen Oellampen hauptsächlich durch das bandförmige Docht unterscheidet, welches in einem Cylinder zusammengewunden ist. Das Leuchten des Lampenlichts beruht nämlich auf dem Umstande, daß das Oel in kohlenstoffhaltiges Wasserstoffgas zersetzt wird, welches sich mit dem Sauerstoffe der atmosphärischen Luft verbindet. Hierbei kommt es also darauf an, daß das Docht eine große Oberfläche habe und dadurch viel Sauerstoff dem verbrennenden Oele zugeführt werde. Dieses suchte Alströmer durch bandförmige Dochte zu erreichen, allein da diese, wenn sie vollkommen ausgebreitet sind, einen großen Raum einnehmen, wodurch in vielen Fällen die Lampe eine unbequeme Form er-

hält, so ist es vortheilhafter, sie nach Argand's Methode cylindrisch zusammenzuwinden.

§. 118.

Das Auge und die Brillengläser.

Obschon es hier unsere Ansicht nicht seyn kann, die Theile des menschlichen Auges und ihre Functionen beim Sehen genau zu erörtern, so müssen wir doch so viel davon vortragen, als zum Verständniß der für einen großen Theil der Menschheit so wohlthätigen Brillengläser dient.

Dieses größte aller optischen Instrumente, das nur der vollkommen kennt, der es gemacht, läßt sich nicht uneigentlich mit einer Camera obscura vergleichen. — Der Augapfel (Taf. XXVIII. Fig. 2), welcher in der konischen, aus Knochen geformten Augenhöhle liegt, hat die Form einer Kugel, wenigstens äußerst nahe; denn nach Sömmering verhält sich die Axe zum Querdurchmesser, wie 100 : 95, d. i. wie 20 : 19. Er besteht aus 4 Häuten, der harten Haut (tunica sclerotica), der Aderhaut (tunica choroidea), der Hornhaut (tunica cornea) und der Netzhaut (retina), welche drei Flüssigkeiten umschließen, die wäßrige, die krystallinische und die gläserne. Die äußere harte Haut aaaa, die das sogenannte Weiße im Auge bildet, ist eine sehr feste Haut, an welcher die sechs Muskeln befestigt sind, welche den Augapfel bewegen. Die Hornhaut bb, welche etwas mehr gekrümmt ist, als die übrige Fläche des Augapfels und daher etwas hervorsteht, bildet nach einigen Anatomen die Fortsetzung der harten Haut, nach Andern ist sie nur mit dieser verbunden. Sie bildet den vordern Theil des Augapfels und ist die erste optische Fläche, in der sich die Lichtstrahlen brechen. Sie hat eine große Resi-

stenzkraft, ist überall gleich dick und besteht aus mehreren festverbundenen Schichten, welche einem äußern Stoß und den Einflüssen der Luft großen Widerstand zu leisten vermögen. Die Adernhaut hängt mit der innern Fläche der harten Haut mittels eines bräunlichen Zellgewebes zusammen und besteht aus einem dichten Netze zarter Arterien und Venen, die durch Zellgewebe zu einer Haut verbunden sind. Ihre innere Seite ist mit einer schwarzen schleimartigen Substanz überzogen, welche aus Kohle mit etwas Eisen besteht und sich leicht mit dem Finger oder einem Pinsel wegwischen läßt. Der Grund, warum dieser schwarze Ueberzug vorhanden, ist kein anderer, als der, warum man optische Instrumente inwendig schwarz anstreicht; es sollen nämlich die Strahlen, welche auf das schwarze Pigment fallen und nicht zum Sehen gehören, verschluckt werden, damit sie dem deutlichen Sehen nicht hinderlich fallen, wenn sie zurückgeworfen würden und sich mit dem zum Sehen dienenden Lichte vermischten. Bei den Kakerlaken oder Albinos fehlt diese Schwärze, und im Fall des gänzlichen Mangels ist die Pupille dunkelroth; die Iris blaßroth. Solche Personen werden bei starkem Licht unangenehm gereizt und wollen lieber bei wenigerem Lichte sehen.

Die Netzhaut r r ist eine unmittelbare Fortsetzung des Sehnervens o o, dessen Fibern sich hier zu einer zarten Haut strahlig ausbreiten, die mit zahllosen Arterien und Venen durchwebt ist. Der Sehnerv tritt in dem Punkt in das Auge ein, welcher ungefähr $\frac{1}{10}$ Zoll von der Augenaxe nach der Nase zu liegt. Am Ende der Augenaxe befindet sich in senkrechter Richtung über dem Mittelpunkte der Hornhaut das sogenannte Centralloch, welche mit einem gelben Rande umgeben ist; dieses ist jedoch nicht ein eigentliches Loch, sondern nur eine transparente Stelle,

die nicht mit der weißen flüssigen Materie der Netzhaut umgeben ist.

Sieht man durch die Hornhaut von Außen, so nimmt man eine ebene, kreisförmige Haut e f wahr, die grau, blau oder schwarz ist. Sie heißt die Regenbogenhaut oder Iris und ihre hintere, mit einem gleichen schwarzen Pigment, als die Adernhaut überzogene Stelle, die Traubenhaut. Sie theilt das vordere Auge in zwei ungleiche Theile. Sie erscheint im Leben als aus Streifen bestehend, welche strahlenartig vom äußern Rande nach der Pupille laufen, geschlängelt, wenn diese erweitert, gerade, wenn sie verengert ist. Sie besteht vorzüglich aus Blutgefäßen und Nerven, durch zartes Zellgewebe verbunden. In der Mitte der Regenbogenhaut befindet sich eine kreisförmige Oeffnung d, die Pupille, die sich bei schwachem Licht ausdehnt, bei starkem Lichte zusammenzieht, um in jedem Falle so viel Licht in das Auge zu lassen, als erforderlich ist, um ohne Anstrengung oder zu großen Lichtreiz zu sehen.

§. 119.

Die beiden Theile, in welche die Regenbogenhaut den Raum des Augapfels theilt, heißen Kammern und zwar die Vorder- und Hinterkammer. Die Vorderkammer enthält die wäßrige Feuchtigkeit, deren Menge bei einem erwachsenen Menschen 6 bis 7 Tropfen betragen soll und wahrscheinlich in einer höchst dünnen zarten Haut völlig eingeschlossen liegt. Sie ist vollkommen durchsichtig und sehr elastisch, in der Jugend am klarsten, trübt sich mehr im Alter, wird zuweilen durch Entzündung zu reichlich abgesondert, erzeugt dann ein Gefühl von Spannung, die Hornhaut trübt sich und wird stark hervorgetrieben. Im Gegentheile findet aber auch zu reichliche Absorbtion

statt, welche beide Zustände auf die Veränderung der Weitsichtigkeit und Kurzsichtigkeit Einfluß haben.

Die Krystalllinse cc ist die consistenteste Flüssigkeit im Auge. Sie liegt in einem zarten, durchsichtigen Häutchen, der Linsenkapsel, wie in einem Sacke, der durch die Augenlidergewebe g g, die auf jeder Seite am Rande der Kapsel befestigt sind, aufgehängt ist. Die Krystalllinse ist nach Innen mehr convex, als nach Außen; der Radius der Vorderfläche beträgt $\frac{1}{30}$, der der Hinterfläche $\frac{1}{22}$ Zoll. Ihre Dichtigkeit wächst vom Umfange nach der Mitte zu und sie besteht aus vielen durch Fasern gebildeten concentrischen Schichten. Zwischen der Linse und ihrer Kapsel befindet sich eine kleine Quantität einer eigenen Flüssigkeit, Liquor Morgagnii, in welcher die Krystalllinse gleichsam schwimmt.

Die gläserne Feuchtigkeit nimmt den größten Theil des Augapfels, den mittlern und hintern ein und ist in eine zarte und durchsichtige Haut, die Glashaut eingeschlossen, welche viele Zellen bildet.

Die größte Länge des Auges von o bis b beträgt ungefähr nach Brewster 0,91 Zoll, die Brennweite der Linse cc 1,73 Zoll englisches Maas und der Beweglichkeitsraum des Augapfels oder der Durchmesser des deutlichen Gesichtsfeldes 110°. Das Gesichtsfeld unter der horizontalen Linie beträgt 50°, über derselben 70°, im Ganzen also 120° in der Vertikalebene; es beträgt 60° in der Horizontalebene, 90° außer derselben.

§. 120.

Fragen wir nun, wie mittels der im vorigen §. beschriebenen Theile des Auges das Sehen vermittelt werde, so geben wir mit Kepler folgende Antwort: die Feuchtigkeiten im Augapfel und ganz besonders die Krystalllinse bilden das Objectivglas einer Ca-

mera obscura und die Netzhaut ist die Wand, auf welcher sich die Bilder abmalen. Von der Netzhaut, welche demnach der eigentliche Sitz der Empfindung ist, pflanzt sich der Eindruck auf unbegreifliche Weise durch den Sehnerven weiter zum Gehirn fort, und noch weit unbegreiflicher ist die Art, wie aus den Schwingungen der Nervenfibern und der Anregung des Gehirns die Vorstellung vom gesehenen Object entsteht. — Ob nun aber die Netzhaut der empfindungsfähige Theil des Auges sey, oder ob der Sitz der Empfindung irgend wo anders liegen müsse, darüber ist schon viel gestritten worden, allein erfahrungsmäßig malen sich mittels der durch die Feuchtigkeiten gebrochenen Lichtstrahlen auf der Netzhaut deutliche verkehrte Bilder ab, und es ist kein deutliches Sehen möglich, wenn bei einem fehlerhaften Auge jene Bilder vor oder hinter der Fläche der Netzhaut liegen. — Diese Thatsache ist allein für unsere gegenwärtige Absicht von Bedeutung. Man kann sich davon leicht durch Versuche überzeugen, wenn man von einem Ochsenauge die hintern Häute bis auf die Netzhaut wegnimmt, wo man auf der letztern die Gegenstände, welche sich in der rechten Entfernung befinden, deutlich, aber verkehrt abgebildet sieht. Auch fallen die Vereinigungspunkte der im Auge gebrochenen Strahlen, wenn man sie aus den gemessenen Dimensionen der drei Feuchtigkeiten und ihren Brechungsverhältnissen berechnet, genau auf die Netzhaut.

Wir bemerken dazu noch Folgendes:

1) Wenn ein Gegenstand dem Auge näher rückt oder sich von ihm entfernt, so wird auch der Ort des Bildes nach ähnlichen Gesetzen, wie wir für Linsengläser nachgewiesen haben, sich ändern. Da wir aber doch bei verschiedenen Entfernungen deutlich sehen können, so muß nothwendig das Auge ein Vermögen besitzen, sich für verschiedene Entfernungen so einzurich-

ten, daß das Bild gerade auf die Netzhaut fällt. Dieses Vermögen wird wenigstens zum großen Theil durch gewisse Muskeln bedingt, durch welche die Krümmung der Feuchtigkeiten nach Bedürfniß geändert oder die Krystalllinse der Netzhaut näher oder ferner gerückt werden kann. Die Erfahrung stimmt hiermit in sofern überein, als eine große Anstrengung erforderlich ist, wenn man Objecte in jeder Entfernung deutlich sehen will, besonders dann, wenn man plötzlich aus einer Entfernung in eine andere blickt. Ganz besonders aber ist die Grenze merkwürdig, über welche man ein Object dem Auge nicht nähern darf, wenn es noch deutlich gesehen werden soll und welche wir die Weite des deutlichen Sehens nennen. In ihr sieht das Auge am vollkommensten, weil es zugleich auch das Object unter dem größten Sehwinkel sieht; wollte man aber den Gegenstand dem Auge noch mehr nähern, um ihn noch mehr zu vergrößern, so würde das Bild zu weit hinter die Netzhaut fallen und das Vermögen des Auges aufhören, sich für diese Entfernung anzupassen. — Die Weite des deutlichen Sehens beträgt für ein gesundes Auge 8 bis 10 Zoll.

2) Da die Gestalt der brechenden Flächen im Auge äußerst nahe kugelförmig ist, so würde eine ähnliche Abweichung stattfinden, wie bei Linsengläsern, wenn nicht die Krystalllinse in der Mitte dichter wäre, als am Rande und so die stärkere Brechung, welche die Randstrahlen in einer Linse von gleicher Dichtigkeit erleiden, durch das schwächere Brechungsvermögen des Randes wieder compensirt würde. Aber achromatisch ist das Auge nicht, d. h. es zerstreut eben so die Farben, wie ein Linsenglas, aber diese Farbenzerstreuung ist unmerklich. Wenn man indessen einen Finger so nahe an das Auge hält, daß nur ein dünner weißer Lichtstreifen in das Auge dringen kann, so sieht man alle Farben des prismatischen Spectrums.

3) Wir sehen einen Gegenstand dann am besten, wenn wir die Augenaxe gerade auf ihn richten. Dieses ist das directe Sehen, im Gegensatz zu dem indirecten, undeutlicheren Sehen der Gegenstände, welche außer der Augenaxe liegen. Mitunter scheint das directe Sehen dem indirecten an Deutlichkeit weit nach zu stehen. So bemerkt Herschel, daß es oft fast unmöglich wäre, einen kleinen Stern im Telescop direct zu sehen, derselbe erscheine aber ganz deutlich, wenn man einen größern, nahe liegenden Stern betrachte und verschwinde sogleich wieder, wenn man die Augenaxe auf ihn richte. Die Seitentheile der Netzhaut sind nach Herschel's Meinung nicht so sehr durch den Gebrauch abgestumpft oder erschöpft und haben daher eine stärkere Empfindlichkeit für schwache Lichteindrücke, als die centralen Theile; vielleicht aber breitet sich das Licht auf den Seitentheilen mehr aus und erregt Vibrationen auf einem größern Theile der Netzhaut, woher das lebhaftere Sehen entsteht.

4) Die Richtung, in welcher wir die Gegenstände sehen, ist nicht abhängig von der Richtung, in welcher die Lichtstrahlen das Auge treffen, sondern bestimmte Erfahrungen weisen dahin, daß die Richtung des gesehenen Objects auf der kugelförmigen Oberfläche der Netzhaut senkrecht ist. Man betrachte z. B. über ein Kartenblatt weg einen Punkt und schiebe die Karte so lange, bis ihr Rand den Punkt zu decken scheint, oder was eben so viel ist, man vernichte alle Strahlen, welche durch die Pupille gehen, bis auf die am obersten Rande, so findet man, daß der Punkt noch in eben der Richtung gesehen wird, als durch alle Strahlen zusammengenommen.

5) Hieraus beantwortet sich auch leicht eine viel bestrittene Frage, woher nämlich die aufrechte Richtung des gesehenen Gegenstands komme, da doch sein Bild verkehrt auf der Netzhaut abgebildet wird. Alle

die Richtungen nämlich, in welchen wir mehrere Punkte sehen, durchschneiden sich im Mittelpunkte des kugelförmigen Augapfels und so kommt es, daß diejenigen Punkte des Bildes, welche auf der Netzhaut unten liegen, nach oben, die obern nach unten gesehen werden, wodurch die aufrechte Lage wieder hergestellt ist.

6) Obgleich sich auf der Netzhaut eines jeden Auges ein Bild des gesehenen Objects erzeugt, so sehen wir doch dasselbe nur einfach, wenn beide Augen die Axen auf ihn richten können. Es leidet keinen Zweifel, daß wir wirklich zwei Objecte sehen, allein diese beiden Objecte verschmelzen in ein einziges, weil jedes von ihnen genau denselben Platz einnimmt, was vermittels der Muskeln bewirkt wird, welche den Augapfel bewegen, indem sie ihn so richten, daß die Linie der Gesichtsrichtung jedes der Punkte des einen Bildes die Linie der Gesichtsrichtung jedes derselben Punkte des andern Bildes schneidet. Daher sehen wir auch einen Punkt doppelt, wenn wir ihn so betrachten, daß wir während dessen die Augenaxen nach einem andern Punkte richten, oder wenn wir ihn so nahe zwischen beide Augen bringen, daß wir nicht vermögen, beide Augenaxen zugleich auf ihn zu richten, wie z. B., wenn man einen Finger ihrer Länge nach an die Nase legt.

§. 121.

Das menschliche Auge ist vielen Fehlern unterworfen, wovon diejenigen, welche man Weitsichtigkeit und Kurzsichtigkeit nennt, die gewöhnlichsten sind und zu deren Entfernung die Brillen verfertigt werden. Die Weitsichtigkeit ist derjenige Fehler, wo die Weite des deutlichen Sehens größer ist, als 8 bis 10 Zoll und oft einige Fuß beträgt, d. h. weitsichtige Personen müssen die Objecte weiter, als 8 bis 10 Zoll vom Auge rücken, wenn sie dieselben

deutlich sehen wollen. Von diesem Fehler des Auges überzeugt man sich dadurch, daß die in gewöhnlicher Sehweite befindlichen Gegenstände, am meisten mäßig große Schrift, undeutlich, grau und mitunter doppelt erscheint, daß große Schrift in weiterer Entfernung leichter gelesen wird, daß das Auge, um in der Nähe zu sehen, vieles Licht bedarf, entfernte Gegenstände aber leicht erkennt und daß ein deutliches Erkennen naher Gegenstände nur mit Mühe und durch besondere Anstrengung des Auges nur bei vielem Lichte möglich ist. Bei anfangender Weitsichtigkeit wird daher über Undeutlichkeit des Gesehenen, Verdoppelung der Bilder und Schwäche des Auges geklagt, auch pflegen dann die daran Leidenden, wenn sie beim Kerzenlichte sehen wollen, dieses zwischen das Object und das Auge zu halten, um für letzteres einen stärkern Lichtreiz zu erhalten, welches Mittel indeß dem Auge nachtheilig ist.

Die Weitsichtigkeit ist ein gewöhnlicher Fehler des Alters und hat ihren Grund in einer geringern Erhabenheit der Hornhaut und einer zu flachen Krümmung der Krystallinse, welche beiden Zustände aus einer Abnahme der Feuchtigkeiten im Augapfel oder einer Austrocknung derselben entstehen. Die Bilder entfernter Gegenstände liegen näher an einer Linse, als die naher Objecte, aber diese Entfernung wächst auch, wenn die Krümmung des Glases flächer wird. Wenden wir nun dieses auf das krankhafte Auge an. Im gesunden Zustande sah dasselbe in der Weite von 10 Zoll deutlich, indem bei dieser Entfernung deutliche Bilder auf die Netzhaut fielen. Nun wird aber die Krystallinse flächer, das Bild fällt daher auch bei 10 Zoll Sehweite weiter von ihr weg und daher nicht mehr auf die Netzhaut, sondern hinter dieselbe, so daß kein deutliches Sehen mehr stattfindet. Wenn aber das Object weiter vom Auge abge-

rückt wird, so rückt das Bild näher an die Linse und kann nun auf die Netzhaut fallen, wodurch wieder deutliches Sehen entsteht.

Man sieht leicht ein, daß ein solcher Fehler durch ein Sammelglas von geeigneter Brennweite corrigirt werden könne; denn wenn auch beim weitsichtigen Auge das Bild eines 10 Zoll entfernten Objects hinter die Netzhaut fällt, so werden doch die Strahlen, wenn ein Sammelglas vor das Auge gehalten wird, stärker gebrochen und dadurch gleichsam die Brennweite der Krystalllinse vermindert, das Bild wird der Krystalllinse näher gebracht und kann, wenn die Brennweite des Sammelglases gut gewählt ist, wieder auf die Netzhaut fallen. Durch solche Gläser wird daher eine weitsichtige Person wieder vermögend, in der gewöhnlichen Sehweite deutlich sehen zu können und vor allen den Unannehmlichkeiten geschützt, welche aus der zu großen Entfernung der Dinge vom Auge entstehen. Zugleich gewähren convexe Brillengläser noch den Vortheil, daß sie mehr Licht ins Auge bringen, welches bei weitsichtigen alten Personen deshalb so nöthig wird, weil die Feuchtigkeiten ihrer Augen gewöhnlich minder durchsichtig sind, als es bei jungen Personen der Fall ist.

Mit der Weitsichtigkeit darf nicht ein anderer Gesichtsfehler des Alters, die Amblyopie verwechselt werden, welche in Schwächung des Gesichts besteht und damit beginnt, daß dergleichen Personen die Mangelhaftigkeit ihres Gesichts bei nahen und kleinen Objecten zuerst empfinden, weshalb sie leicht mit Weitsichtigkeit verwechselt wird.

§. 122.

Der entgegengesetzte Fehler ist die Kurzsichtigkeit, bei welchem nur solche Gegenstände deutlich gesehen werden, welche sich dem Auge näher be-

finden, als die gewöhnliche Sehweite von 8 bis 10 Zollen. Dieser Fehler rührt von einer zu starken Krümmung der Hornhaut und der Krystalllinse, oder auch von einer zu großen Dichtigkeit und zu großem Brechungsvermögen der Flüssigkeiten her, wodurch die Strahlen so stark gebrochen werden, daß sie sich noch vor der Netzhaut zu einem Bilde vereinigen. In andern Fällen kann auch die Krystalllinse zu weit von der Netzhaut abstehen. Diesem Fehler kann man durch ein Zerstreuungsglas von geeigneter Zerstreuungsweite abhelfen; denn durch dasselbe wird gleichsam ein Theil von der Brechung der Krystalllinse wieder aufgehoben (§. 92), wodurch das Bild weiter von derselben abrückt und auf die Netzhaut fallen kann.

Kurzsichtige bedürfen also zerstreuende Brillengläser.

Die Kurzsichtigkeit ist unter den niedern Volksklassen äußerst selten, unter den höhern Ständen dagegen zuweilen angeboren und sogar erblich, wird aber bei weitem am häufigsten durch anhaltendes Sehen naher und kleiner Gegenstände, durch vieles Sehen in die Flamme eines Lichts oder Feuers, oder zu stark erleuchtete Gegenstände, hauptsächlich aber durch Angewöhnung erzeugt und ist daher ein gemeiner Fehler der Bewohner großer Städte mit engen Straßen, der Gelehrten, welche viele kleine Schrift lesen, und derjenigen, welche ununterbrochen feine Arbeiten verrichten. Die Weite, in welcher Kurzsichtige deutlich sehen, nimmt oft bis zu 2 Zoll und weniger ab. In der Regel ist das kurzsichtige Auge sonst gut und dauerhaft, sieht bei wenigem Lichte scharf und unterscheidet in der Nähe deutlich kleine Gegenstände. Weil es aber Anstrengung erfordert, beide Augenaxen auf den nämlichen Punkt zusammenzubringen, dieses aber bei einem niederwärts gehaltenen Objecte leichter ist, als bei einem höhern, die hieran einmal gewöhnten

Augen sich indeß für letzteres leichter auf einen entfernten Punkt richten, so werden Kurzsichtige leicht übersichtig (statt daß Weitsichtige für nahe Gegenstände leicht niedersichtig sind), lesen gern kleine Schrift und schreiben eine kleine Hand, um viel in einem nahen Raume zu übersehen und eine zu starke Bewegung der Augen oder des Kopfes zu vermeiden. Sehr Kurzsichtige, welche zugleich viel lesen müssen und um den Kopf nicht zu sehr niederzubeugen, das Buch in einer Hand halten, nehmen leicht die Gewohnheit an, das zu Lesende seitwärts zu halten, wodurch indeß den Augen der Nachtheil zuwächst, daß entweder das eine Auge, indem es gegen die Nase gerichtet ist, ganz unthätig bleibt, oder daß beide Augen eine verschiedene Weite des deutlichen Sehens annehmen. Indem auch die Kurzsichtigen weder diejenigen, mit denen sie reden, noch die umgebenden Gegenstände genau sehen können, so benimmt dieses ihren Augen die Klarheit und erzeugt eine Art von Stumpfheit und Unbeholfenheit im Benehmen.

Man sollte glauben, dieser Fehler müsse mit zunehmendem Alter, wegen des Austrocknens der Säfte, von selbst geringer werden oder ganz aufhören, allein die Erfahrung gibt das Gegentheil, welches Adams sehr richtig vom gewohnten Gebrauche der Gläser ableitet, wozu man setzen kann, daß die ihn erzeugenden Ursachen gewöhnlich fortzudauern pflegen. Er wird daher nur dann mit der Zeit abnehmen, wenn kurzsichtige Personen sich viel im Freien aufhalten und sich fortwährend anstrengen, fern und stufenweis entferntere Gegenstände zu sehen, z. B. auf der Jagd u. dergl.

§. 123.

Wir wollen nun zur Bestimmung der Brennweite der Brillengläser übergehen, welche sich für ein

bestimmtes weit- oder kurzsichtiges Auge schickt, damit der Fehler aufgehoben werde. Zu diesem Zweck ist es aber durchaus nothwendig, die Entfernung zu wissen, bei welcher das fehlerhafte Auge eine mäßig große Schrift deutlich zu erkennen vermag. Wir wollen die Sache zuerst für das weitsichtige Auge betrachten (Tafel XXVIII. Fig. 3). Für dieses sey die Weite des deutlichen Sehens = OB, so wird es den Gegenstand B, wenn er bis A dem Auge so nahe gerückt wird, daß er nur noch 10 Zoll von ihm absteht, nicht mehr deutlich erkennen können, weil nunmehr das Bild weiter hinter der Hornhaut liegt, als die Netzhaut. Wenn aber das Sammelglas MN, dessen Brennweite größer ist, als AO, vor das Auge gehalten wird, so wird es die divergirenden Strahlen Aa, Ab so brechen, daß sie weniger divergiren und aus einem Punkte B der Axe zu kommen scheinen, welcher weiter weg liegt, als A. Wenn daher des Glases MN Brennweite so genommen wird, daß der Punkt B gerade in die rechte Sehweite des weitsichtigen Auges fällt, so erhält dieses Strahlen, mittels deren es das Object in A deutlich sehen kann; denn nun ist es eben so, als ob gar kein Brillenglas vorhanden sey und das Object in B sich befände.

Um in jedem Falle die Brennweite der beiden Brillengläser für ein weitsichtiges Auge zu bestimmen, hat man die Regel:

Man multiplicire die Weite, in welcher der Weitsichtige ohne Gläser deutlich zu sehen vermag, mit der gewöhnlichen Sehweite eines gesunden Auges (10 Zoll) und dividire das Product durch den Unterschied beider Größen.

Sähe z. B. ein Weitsichtiger in der Entfernung von 18 Zoll deutlich, so würde er ein Brillenglas von

der Brennweite $\frac{18 \times 10}{18 - 10} = 22\frac{1}{2}$ Zoll brauchen. Ist seine Sehweite 24 Zoll, so muß die Brennweite seines Brillenglases $\frac{24 \times 10}{24 - 10} = 15\frac{5}{7}$ Zoll, oder 16 Zoll seyn. Wir bemerken noch, daß hier lediglich Zolle des Pariser Fußes verstanden werden.

Nennt man die Sehweite des weitsichtigen Auges b, so hat man für die Brennweite des Brillenglases die Formel:

$$p = \frac{10\,b}{b - 10}.$$

Man nimmt gewöhnlich die Weite des deutlichen Sehens nur 8 Zoll und berechnet darnach die Brennweiten der Brillengläser für Weitsichtige, nach der eben angegebenen Regel, nur daß 8 statt 10 gesetzt wird. Allein die Erfahrung hat gelehrt, daß auf diese Weise die Gläser etwas zu scharf ausfallen, welches Theils in der zu kleinen Sehweite von 8 Zollen seinen Grund haben mag, oder vielleicht auch in der durch alle Brillengläser herbeigeführten scharfen Begrenzung der Bilder. Daher ist es am besten, wenn man dem, der eine Brille bedarf, mehrere Exemplare vorlegen kann, deren Gläser mehr und weniger convex sind, als die Rechnung angibt, damit man die passendsten auslesen kann. Geübte Künstler und erfahrene Brillenhändler wissen auch bei der Auswahl der Gläser hierauf gehörig Rücksicht zu nehmen.

Um die Sehweite eines Auges zu bestimmen, genügt es, ein Buch mit mäßig großer Schrift vorzuhalten und die Entfernung zu suchen, in welcher das abnorme Auge ohne Anstrengung lesen kann; wir werden jedoch weiter unten ein Paar andere zu diesem Zwecke dienende Vorrichtungen beschreiben.

§. 124.

Beim kurzsichtigen Auge O (Taf. XXVIII. Figur 3) ist das Verhältniß umgekehrt. Das Bild des Objectes B, welches um die Sehweite des gesunden Auges vom kurzsichtigen entfernt ist, entsteht noch vor der Netzhaut, rückt ihr aber immer näher, je näher das Object B nach A hingerückt wird und fällt darauf, wenn das Object in A selbst, d. h. in derjenigen Entfernung, in welcher das kurzsichtige Auge deutlich zu sehen vermag, sich befindet. Es bleibe nun das Object in B stehen und es werde vor das Auge ein Zerstreuungsglas MN gesetzt, so zerstreut dieses die aus B kommenden divergirenden Strahlen Bb, Ba noch mehr, als ob sie aus einem dem Glase näher als B liegenden Punkte kämen und wenn die Zerstreuungsweite der Linse so gewählt wird, daß der Zerstreuungspunkt der aus B kommenden Strahlen gerade in A fällt, so ist es eben so gut, als ob der Gegenstand aus B nach A gerückt worden wäre und das Auge sieht wieder deutlich.

Um für ein kurzsichtiges Auge die gehörige Zerstreuungsweite des Brillenglases zu bestimmen, hat man eben die Regel in Anwendung zu bringen, wie für ein weitsichtiges. Wenn z. B. ein Auge in der Entfernung von 5 Zollen deutlich sieht, so bedarf es eines Hohlglases von $\frac{5 \cdot 10}{10-5} = 10$ Zoll Zerstreuungsweite. Oder wenn die Sehweite des kurzsichtigen Auges $= 7$ Zoll wäre, so müßte die Zerstreuungsweite des Brillenglases $\frac{7 \cdot 10}{10-7} = \frac{70}{3} = 23\frac{1}{3}$ Zoll seyn.

So steht die Sache, wenn der Kurzsichtige noch in der gewöhnlichen Weite des deutlichen Sehens (10 Zoll) gut sehen will. Aber es kommt hierzu eine Schwierigkeit, indem der Kurzsichtige nicht bloß

in der Entfernung von 10 Zollen, sondern überhaupt in jeder Entfernung deutlich sehen will. Verlangt er nun z. B. sehr entfernte Gegenstände deutlich zu sehen, so müßte die Zerstreuungsweite seines Glases seiner Sehweite gleich seyn; während also ein Kurzsichtiger, der in 5 Zoll Entfernung deutlich sieht, ein Brillenglas von 10 Zoll Zerstreuungsweite bedarf, um in 10 Zoll Entfernung deutlich zu sehen, braucht er ein weit schärferes von 5 Zoll Brennweite, um in sehr große Fernen zu sehen. Dieser Unterschied ist sehr beträchtlich und läßt sich nur durch ein Glas von mittlerer Schärfe (7 bis 8 Zoll Zerstreuungsweite) ausgleichen, unter der Bedingung, daß der Kurzsichtige sich an ein solches Glas so viel als möglich zu gewöhnen suche. — Uebrigens ist es sowohl für Weitsichtige, als auch für Kurzsichtige rathsam, sich nicht allzu scharfer Brillen zu bedienen, damit sie durch Gewöhnung ihr Auge dem normalen Zustande näher führen.

§. 125.

Bei dieser Gelegenheit dürfen wir ein Instrument, das künstliche Auge, nicht unerwähnt lassen, welches man in optischen Cabinetten findet, um die Wirkung der Brillengläser zu erklären. Es besteht aus einem kugelförmigen hohlen, inwendig geschwärzten Holze A (dem Augapfel) (Taf. XXVIII. Fig. 4), in welchen sich vorn bei L ein Sammelglas von etwa 4 bis 6 Zoll Brennweite (die Krystallinse) befindet. Das Stück B ist ebenfalls hohl und mittels eines Ansatzes von etwa 1 Zoll Breite in das Stück A hineingeschoben worden. Es ist bei CD mit einem mattgeschliffenen Planglase verschlossen, welches die Netzhaut nachahmt. So bildet das Ganze eine Camera obscura, in welche man durch die Oeffnung o hineinsieht.

Wenn das Stück B ganz in das Stück A geschoben ist, so fällt das Bild eines Gegenstandes, das mittels des Glases L erzeugt wird, hinter das matte Glas C D und das ist das weitsichtige Auge. Schiebt man alsdann das am Fußgestelle befestigte Sammelglas D vor, welches eine angemessene Brennweite hat, so wird das Bild so weit zurückgezogen, daß es auf die Glastafel C D fällt. Zieht man das Stück B heraus, so wird das Bild durch das bloße Glas L auf der Glastafel deutlich, aber wenn man das Stück B noch weiter herauszieht, so fällt das Bild vor die Glastafel C D und das ist das kurzsichtige Auge. Dann wird das Hohlglas E vorgeschoben, wodurch das Bild wieder auf die matte Glastafel fällt und deutlich wird.

§. 126.

Man kann die Brillengläser entweder planconvex oder biconvex, oder planconcav, oder biconcav, oder auch meniskenartig schleifen, denn die Abweichung wegen der Kugelgestalt ist dabei von eben so geringem Belang, als die Farbenabweichung, weil wegen der Kleinheit der Pupille nur die der Axe äußerst nahen Strahlen gebraucht werden. Aber eine nöthige Vorsicht beim Gebrauch der Brillen, die auch auf die Deutlichkeit der Bilder großen Einfluß hat, ist die, daß die Axe des Brillenglases mit der Axe des Auges zusammenfällt. Daher entsteht eine Unbequemlichkeit beim Sehen durch Brillen für diejenigen Gegenstände, welche zur Seite sich befinden und wegen der schiefen Brechung der Strahlen undeutlich gesehen werden, wenn man nicht gerade die Augenaxe auf sie zu bewegt. Um diesem Uebelstande vorzubeugen, schlug Wollaston seine periscopischen (von dem griechischen Worte **periscopein**, umhersehen) Augengläser vor, welche jetzt allgemein im Gebrauch sind. Diese sind

keine andern, als meniskenförmig geschliffene, bei welchen die erhabene Seite jedesmal nach außen gekehrt ist, sey es nun, daß sie als Sammel- oder als Zerstreuungsgläser wirken.

Für Augen, die bei grellen Lichteindrücken sehr gereizt werden, verfertigt man auch Brillen von grünem oder auch neuerdings häufiger von schwach blaugefärbtem Glase. Die grünlichen Gläser verwirft Adams, weil sie den Gegenständen ein schmutziges Ansehn geben und sie nach Wegnahme der Brillen in einem röthlichen Lichte zeigen, woraus er eine schädliche Affection des Auges folgert, jedoch letzteres mit Unrecht, indem die röthliche Färbung der Objecte nach anhaltendem Sehen durch grüne Gläser blos subjective, d. h. durch die Natur des Gesichtssinns bedingte Farbe ist. Das grüne Licht ist allerdings minder leuchtend, als das weiße und wird daher das Auge weniger afficiren, mithin werden grüne Gläser dem nahe kommen, wenn man mit wenigerm Lichte sieht. Wenn man aber berücksichtigt, daß grüne Gläser selten tief gefärbt sind, folglich noch eine Menge weißes Licht durchlassen, daß der Eindruck der grünen Farbe auf ein geschwächtes Auge, wofür ein alterndes meistens zu halten ist, vortheilhaft wirkt, daß endlich Kurzsichtige bei wenigem Lichte dennoch deutlich zu sehen pflegen und Linsengläser überhaupt schärfer begrenzte Bilder geben, so folgt, daß nicht zu dunkel gefärbte Gläser vorzüglich bei reizbaren Augen eher vortheilhaft als nachtheilig sind, besonders für diejenigen Personen, deren Augen durch grell leuchtende Gegenstände, z. B. durch Schneefelder, weiße Wände, durch öfteres Sehen ins Feuer, unangenehm afficirt werden.

Indessen ist ein gegründeter Einwand gegen gefärbte Gläser der, daß bei ihrer verschiedenen Dicke die Gegenstände verschieden gefärbt erscheinen und darum hat man die Brillengläser aus weißem Glase

verfertigt, vor jedem aber ein grünes Planglas angebracht, welches sich je nach dem verschiedenen Bedarf vor- und zurückschlagen läßt. Diese Einrichtung hat aber, abgesehen von ihrer Schwere, wodurch sie leicht lästig werden kann, auch den Nachtheil, daß wegen der zwischen den Gläsern befindlichen Luftschicht die Bilder undeutlich werden. Daher hat Chevallier das weiße und blaue Glas so vereinigt, daß das zusammengesetzte Glas ein gleichfarbiges, die Lichtstrahlen durchaus gleichmäßig brechendes Ganzes ausmacht, was man dadurch erhalten kann, daß das blaue Glas auf beiden Seiten gleich gekrümmt, aber auf der einen erhaben, auf der andern vertieft, d. h. wie ein Uhrglas gestaltet ist und daß die eine Fläche des weißen Glases genau auf das farbige paßt. Das blaue Glas muß so dünn geschliffen werden, als wegen des Zerbrechens nur angeht, damit die Brille nicht zu schwer werde. Solche Brillen nennt man isochromatische (gleichfarbige).

Endlich wollen wir noch der sogenannten Conservations- oder Präservativbrillen Erwähnung thun, welche dazu dienen sollen, das Auge gesund zu erhalten, wie ihr Name anzeigt. Daß es solche Brillen eigentlich nicht geben könne, leuchtet wohl aus dem, was wir von Brillen bereits gesagt haben, von selbst ein, da bei Gläsern mit verschieden gebogenen Flächen immer nur ein gekünsteltes Sehen stattfindet, wodurch das gesunde Auge verwöhnt wird, Gläser mit parallelen Flächen aber keine andere Wirkung thun, als daß sie nach dem Grade ihrer größeren oder geringern Dicke das Licht schwächen. Jedoch braucht man gern Brillengläser von langen Brennweiten als Conservationsbrillen dann, wenn das Auge nur eine geringe Abweichung vom normalen Zustande hat und geneigt ist, eine Veränderung zu erleiden. Hierher gehören auch die sogenannten Staubbrillen, welche aus dünnen hellen

Gläsern mit parallelen Oberflächen bestehen, um das Auge vor Staub oder sonstigen schädlichen Einflüssen zu schützen.

Der Gebrauch eines einzelnen Augenglases muß eigentlich sorgfältig vermieden werden, da dadurch immer nur ein Auge angestrengt wird, woraus leicht eine ungleiche Weite des deutlichen Sehens bei beiden Augen entsteht. Besonders gilt dieses von den großen biconvexen Lesegläsern weitsichtiger alter Leute, weil die in beide Augen zugleich fallenden Lichtstrahlen zu weit von der Axe des Glases durchgehen und die Bewegung der Hand, wodurch dasselbe in wechselnden Abständen vom Auge gehalten wird, die Erzeugung fester und sich gleichbleibender Bilder hindert. Hierzu kommt noch der unangenehme Glanz des von der Oberfläche dieser Gläser reflectirten Lichtes, welcher den Augen schädlich ist.

§. 127.

Unter den Vorrichtungen, die Weite, in welcher ein bestimmtes Auge deutlich zu sehen vermag, zu messen, erwähnen wir besonders die Vorrichtung von Lehot, welche aus einem etwa 3 Fuß langen Lineal besteht, das mit schwarzem Sammet überzogen ist und auf welchem der Länge nach ein weißer Faden ausgespannt ist. Dieses Lineal faßt man, vom untern Augenliede an, in horizontaler Lage und betrachtet so den Faden, welcher nun in der Weite des deutlichen Sehens einfach gesehen wird, diesseits und jenseits aber in zwei divergirende Fäden auszulaufen scheint. Bemerkt man also den Punkt, wo der Faden einfach erscheint, so kann man die Weite des deutlichen Sehens genau abmessen. — Durch diesen Versuch wird man finden, daß sehr oft beide Augen eine ungleiche Sehweite haben.

Nach einer Idee Porterfields hat Stampfer ein Werkzeug zu Stande gebracht, welches ganz be-

sonders zur Bestimmung der erforderlichen Brillen gebraucht wird und dabei große Schärfe gewährt. Es besteht aus einer blechernen Röhre abcd (Taf. XXIX. Fig. 1) von etwa 10 Zoll Länge, in welcher sich eine zweite Röhre efgh von derselben Länge nach Art der Zugfernröhre leicht hin- und herschieben läßt, welches am besten mittels eines angebrachten Getriebes geschieht. Bei ad befindet sich eine Converlinse von etwa 5 Zoll Brennweite, die bis auf zwei schmale Einschnitte bedeckt ist. Beide Einschnitte sind unter sich parallel und 0,4 bis 0,5 Linien von einander abstehend; ihre Länge beträgt etwa 3, ihre Breite $\frac{1}{3}$ Linien. Die innere Röhre ist bei eh durch ein Blech geschlossen, in welchem sich eine mit den angegegebenen genau parallele Spalte von höchstens 0,05 Linien befindet und bei fg ist das Ganze durch ein mattgeschliffenes Planglas geschlossen. Dieses so gebaute Instrument wird wie ein Fernrohr gegen das Tageslicht gehalten und dann erblickt das Auge, wenn es durch die Streifen bei ad sieht, zwei lichte Streifen, wenn beide Röhren tief in einander geschoben sind, die sich stets nähern und in eine einzige Linie zusammenfallen, wenn man die innere Röhre bis zu einer gewissen Länge herauszieht, aber wieder in zwei übergehen, wenn man die Röhre noch weiter herauszieht. Beim kurzsichtigen Auge muß die innere Röhre weniger, beim weitsichtigen mehr herausgezogen werden, wenn beide Streifen in einen zusammenfallen sollen, und aus diesem Unterschiede eben werden die für das abnorme Auge erforderlichen Brillengläser gefunden.

Zu diesem Zwecke bemerkt man durch einen Strich auf der innern Röhre die Stelle mn, bis zu welcher diese Röhre in die äußere hineingeschoben werden muß, damit ein gesundes Auge den einfachen Streifen erblicke. Diesen Versuch wiederholt man bei Personen

von anerkannt gutem Gesichte mehrmals, damit man aus den Versuchen ein Mittel nehmen und nach diesem die Stelle mn bestimmen könne. Bei diesem Verfahren muß das Ausziehen gleichmäßig und anhaltend geschehen, man darf aber nicht, wenn zu weit herausgezogen ist, wieder zurückschieben, sondern muß von vorn wieder anfangen; auf diese Weise betrugen bei dem wirklich ausgeführten Instrumente die Abweichungen vom Mittel nicht mehr als $\frac{1}{10}$ Zoll.

Nachdem man nun die Stelle mn bestimmt hat, werden zu beiden Seiten derselben die aus der Figur ersichtlichen Theilstiche mit den dabei stehenden Zahlen aufgetragen, aus welchen man die Brennweite des erforderlichen Brillenglases sogleich ablesen kann, wenn die innere Röhre bis zu einem solchen Theilstriche herausgeschoben werden muß, damit ein abnormes Auge durch das Instrument einen einzigen scharf begrenzten Lichtstreifen sehe. Zur Linken von mn, nach ad hin, stehen die Brennweiten für Weitsichtige, auf der andern die für Kurzsichtige.

Die Entfernungen der Theilstriche von mn werden nun auf folgende Weise berechnet:

1) Für Weitsichtige. Man multiplicirt den Abstand der Spalte eh = d vom Glase ad, bei welchem die innere Röhre bis mn ausgezogen ist, d. h. bei welchem das gesunde Auge einen einzigen Streifen sieht, mit sich selbst und dividire das Product durch die Differenz, welche man erhält, wenn man denselben Abstand von der Brennweite f des Brillenglases für ein abnormes Auge abzieht, nach der Formel

$$\frac{d\,d}{f-d}.$$

Links neben mn wird nun in der berechneten Entfernung der Theilstrich aufgetragen und dabei die bei der Rechnung zu Grunde liegende Zahl für f ge-

schrieben. Natürlich braucht dann ein Auge, bei welchem die innere Röhre bis zu diesem Theilstriche ausgezogen werden muß, ein Brillenglas von der Brennweite, welche dem Theilstriche beigeschrieben ist. Diese Rechnung wird für verschiedene Werthe von f, für 100, 80, 60, 40 .... Zoll u. s. w. wiederholt.

Wenn nun das abnorme Auge mittels des Brillenglases, welches ihm das Instrument zeigte, durch das Glas **ad** sieht, so wird es den einfachen Lichtstreifen dann erblicken, wenn die innere Röhre bis **mn** eingeschoben ist, was man zur Prüfung des gefundenen Brillenglases benutzen kann.

Wäre z. B. d = 4 Zoll, so wäre für ein convexes Brillenglas von 20 Zoll Brennweite der Abstand des Theilstriches von **mn** $= \frac{4 \cdot 4}{20-4} = 1$ Zoll. In dieser Entfernung wird nun der Theil nach **ad** hin aufgetragen und dabei die Zahl 20 geschrieben.

2) Für Kurzsichtige werden die Theilstriche nach **fg** hin aufgetragen, ihre Entfernung von **mn** aber wird nach folgender Rechnung gefunden. Man multiplicire den vorigen Abstand d mit sich selbst und dividire das Product durch die Summe, welche man erhält, wenn man eben die Zahl d zur Zerstreuungsweite f des erforderlichen Glases addirt, nach der Formel

$$\frac{dd}{f+d}.$$

Für sehr Weitsichtige, welche Gläser von sehr kurzen Brennweiten brauchen, lassen sich nicht füglich alle Theilstriche auf die innere Röhre zeichnen; denn wenn z. B. die Brennweite 6 Zoll betrüge, so würde nach der obigen Rechnung der Abstand **mn** schon $\frac{4 \cdot 4}{6-4} = 8$ Zoll betragen (wenn d = 4 Zoll) und

sich wegen der Kürze der Röhre nicht mehr auftragen lassen. Man muß daher den Strich mn beträchtlich aus der Mitte der eingeschobenen Röhre bringen, was durch eine Ocularlinse ad von kürzerer Brennweite erreicht wird. Bei dem durch Stampfer ausgeführten Instrumente beträgt die Länge von mn bis fg 3,7 Zoll, von mn bis eh 5,5 Zoll. Von der andern Seite jedoch ist es wünschenswerth, den Abstand zwischen eh und ad (die Größe d) nicht zu klein zu machen, damit die Theile der Scale größer werden. Um beide Bedingungen zu vereinigen, ist es zweckmäßig, zwei Ocularlinsen anzubringen, die man mit einander vertauschen kann und deren Brennweiten etwa 7 und $3\frac{1}{2}$ Zoll betragen, für beide den Strich mn zu bestimmen und aus dem Werthe von d beide Scalen zu berechnen, die dann, auf die Röhre aufgetragen, die Brennweiten der convexen Brillengläser, die ersteren für weniger, die letzteren für stark gekrümmte geben.

Siebentes Kapitel.

Von den Fernröhren oder Telescopen.

---

§. 128.

Unter einem Fernrohre versteht man ein optisches Werkzeug, womit man entfernte Gegenstände nahe, deutlich und vergrößert sehen kann. Es hat die Form einer Röhre, in welche die erforderlichen Linsengläser eingesetzt sind, daher der Name Fernrohr, oder Tubus. Man hat verschiedene Arten derselben, welche auch mit verschiedenen Namen bezeichnet wer-

den, namentlich zerfallen sie in zwei Klassen, in Refractoren, bei welchen das Hauptbild durch eine Glaslinse erzeugt wird und in Reflectoren, welche statt dieser Glaslinse einen Hohlspiegel haben. Doch gibt man diese Namen nur den vorzüglichern Werkzeugen, eben so wie man unter Telescop nur ein vorzüglich gutes und viel leistendes Fernrohr versteht. Den Namen Perspectiv gibt man in der Regel nur den geringfügigen Fernröhren.

§. 129.

Das astronomische Fernrohr.

Das einfachste Fernrohr ist offenbar das astronomische oder das Sternrohr, welches von Kepler erfunden worden ist und darum so benannt wird, weil es am meisten zu Beobachtungen am Himmel gebraucht wird. Es besteht aus zwei Sammelgläsern **MN** und **PQ** (Taf. XXIII. Fig. 1). Das Glas **MN**, welches dem Gegenstande zugekehrt ist und eine lange Brennweite hat, heißt Objectivglas, das am Auge befindliche **PQ** Ocular- oder Augenglas, dessen Brennweite kurz ist. Beide sind zu einander parallel und so aufgestellt, daß sie die Axe **VW** gemeinschaftlich haben und um die Summe ihrer Brennweiten abstehen. Ein sehr entfernter Gegenstand **FE** sende nun seine Strahlen auf das Objectiv **MN**, so entwirft dieses in seinem Brennpunkt ein umgekehrtes Luftbild **fe** des Gegenstands **EF**, welches durch das Ocular **PQ** wie durch eine Loupe betrachtet wird. Wenn daher ein Auge durch Parallelstrahlen deutlich sieht, so muß das Bild **fe** in den Brennpunkt des Oculars **PQ** zu liegen kommen, damit die Strahlen beim Austritt aus dem Ocular unter sich parallel werden können. Ein kurzsichtiges Auge müßte das Ocular etwas näher an das Bild

anrücken und ein weitsichtiges etwas weiter davon entfernen. — Hieraus ist nun zunächst klar, daß durch ein astronomisches Fernrohr die Gegenstände umgekehrt gesehen werden, weil das umgekehrte Bild fe durch das Augenglas PQ unmittelbar betrachtet wird (vgl. §. 83 und 84).

Wenn der Gegenstand nicht mehr so weit entfernt ist, daß die von einem Punkte desselben ausfahrenden Strahlen als unter sich parallel angesehen werden dürfen, so fällt sein Bild über den Brennpunkt f des Objectivs hinaus, daher man auch das Augenglas weiter vom Objectivglas abrücken muß, so weit bis sein Brennpunkt in den Ort des Bildes fällt und dieses wieder deutlich gesehen werden kann. Daher ist bei jedem Telescop wenigstens die Röhre verschiebbar, in welcher das Augenglas sich befindet, damit man diesem in jedem Falle die rechte Entfernung vom Oculare geben kann.

Das astronomische Fernrohr ist dasjenige, an welchem man die Eigenschaften eines Fernrohrs überhaupt, so wie die Bedingungen zu seiner Güte am besten kennen lernen kann, daher wir es auch zuerst beschreiben wollen, obgleich es nicht zuerst erfunden wurde.

§. 130.

Vergrößerung.

Das astronomische Fernrohr vergrößert den Sehwinkel so viel mal, als die Brennweite des Augenglases in der des Objectivs enthalten ist. Wir haben nämlich gesehen, daß, wenn ein Auge im Mittelpunkte V des Objectivs stehen würde, ihm der Gegenstand FE und sein Bild fe unter gleichem Sehwinkel erscheinen müßten, weil der Strahl EVea, der durch die Mitte des Objectivs geht, nicht gebrochen wird; mittels des Fern-

rohrs aber erscheint das Bild unter dem Winkel aOW = eWf, nämlich gerade so, als ob es aus der Mitte W des Glases PQ betrachtet würde. Wenn daher, wie es beim Fernrohre Bedingung ist, fW kleiner ist, als Vf, so ist der Winkel fWe größer, als der Winkel fVe oder als EV, und zwar in eben dem Verhältniß, als Vf größer ist, als Wf, so lange nur kleine Winkel in Betracht kommen. Wenn man daher untersucht, wie oft die Brennweite Wf des Augenglases in Vf, der Brennweite des Objectivs enthalten ist, so gibt der Quotient zugleich an, wie vielmal der Winkel fVe oder EVF durch das Fernrohr vergrößert wird, indem das Object unter dem Winkel fWe erscheint.

Da man mit Fernröhren nur sehr entlegene Gegenstände betrachtet und die Länge des Rohrs nur gering ist im Vergleiche zur Entfernung der Objecte, so ist es gleichgültig, ob man das Auge um die Länge des Fernrohrs vorwärts bewegt oder zurückzieht; das Object wird in beiden Fällen unter demselben Sehwinkel erscheinen, so daß man den Winkel EVF = fVe als den Winkel annehmen kann, unter welchem der Gegenstand mit bloßem Auge gesehen wird. Daher vergrößert das Fernrohr so vielmal, als der Winkel fWe größer ist, als fVe, oder als Vf größer, als Wf, oder so vielmal, als die Brennweite des Augenglases in der des Objectivs enthalten ist.

Hieraus würde nun unmittelbar folgen, daß ein Fernrohr recht viel Wirkung thun müsse, wenn die Brennweite des Objectivs sehr lang und die des Oculars sehr kurz wäre; denn dann müßte man eine ungemein starke Vergrößerung erhalten. Huyghens besaß z. B. ein Fernrohr, dessen Objectiv 30 Fuß = 360 Zoll Brennweite hatte und wenn man dazu ein Augenglas von $\frac{1}{4}$ Zoll Brennweite nähme, so würde man eine 1440fache Vergrößerung des Sehwinkels

erhalten. Huyghens aber fand, daß, wenn das Fernrohr noch die erforderliche Deutlichkeit besitzen sollte, er die Brennweite des Augenglases nicht unter 3,3 Zoll nehmen durfte, so daß die Vergrößerung nur $\frac{360}{3,3}$, d. i. etwa nur 109fach war.

Uebrigens würde man schon eine Vergrößerung erhalten, wenn man das Bild fe mit bloßem Auge betrachtete, vorausgesetzt, daß die Brennweite Vf des Objectivs größer ist, als die Weite des deutlichen Sehens, etwa 8 Zoll, weil dann offenbar auch der Sehwinkel des Bildes fe größer ist, als der Winkel fVe, unter welchem der Gegenstand mit bloßem Auge gesehen wird und zwar so vielmal, als die Weite des deutlichen Sehens in der Brennweite des Objectivs enthalten ist. So konnte Tschirnhausen an den Bildern, die seine großen Objectivgläser im verfinsterten Zimmer gaben, die Blätter der Bäume erkennen, welche auf 1 Meile entfernt waren, und Herschel sah ganz deutlich den Ring des Saturn an dem Bilde, das der Spiegel seines großen 40füßigen Telescops von diesem Planeten hervorbrachte.

Ist p die Brennweite des Objectivs, p' die des Oculars, so hat man für die Vergrößerung des Fernrohrs, die wir immer mit m bezeichnen wollen, die Formel:

$$m = \frac{p}{p'}.$$

§. 131.

Das Gesichtsfeld.

Unter dem Gesichtsfelde versteht man den Sehwinkel des Gegenstands, den man eben durch ein Fernrohr noch übersehen kann. Hätte man z. B. ein Fernrohr, welches den Mond gerade faßte, so daß

dessen Rand den Rand des Augenglases berührte, so würde das Gesichtsfeld dieses Fernrohrs $\frac{1}{2}$ Grad betragen, weil der Mond, mit bloßem Auge gesehen, unter diesem Winkel erscheint. Hieraus ergibt sich leicht, wie man das Gesichtsfeld für ein gegebenes Fernrohr durch Zeichnung bestimmen kann. Man ziehe nämlich von den äußersten Rändern A und B des Augenglases nach der Mitte des Objectivs gerade Linien A V, BV (Taf. XXIII. Fig. 2), so ist der Winkel AVB offenbar die Größe des Gesichtsfeldes. Denn man kann die Linien A V, B V als die durch die Mitte des Objectivs gehenden äußersten Strahlen des Gegenstands G F ansehen und da sie gerade am Rande des Oculars vorbeigehen, so kann man die Punkte F und G eben noch sehen, aber von den Punkten f und g können die Strahlen f V und g V nicht mehr ins Auge gelangen. Daher ist der Winkel F V G oder A V B der größte, den man durch das Fernrohr noch übersehen kann und daher dessen Gesichtsfeld.

Will man also das Gesichtsfeld durch Zeichnung bestimmen, so zeichnet man ein gleichschenkliches Dreieck A B V, dessen Grundlinie der Oeffnung A B des Oculars und dessen Höhe dem Abstande beider Gläser, also der Summe ihrer Brennweiten gleich ist; der Winkel an der Spitze ist das Gesichtsfeld. Hieraus geht hervor, daß die Oeffnung des Objectivs M N nichts beiträgt zur Größe des Gesichtsfeldes, daß dieses aber zunimmt, wenn die Oeffnung A B des Oculars zunimmt, und abnimmt bei wachsender Länge des Rohrs.

Ein großes Gesichtsfeld gehört zu den ersten Bedingungen eines guten Fernrohrs, weil es offenbar dem Beobachter wünschenswerth seyn muß, daß er viel Gegenstände mit einem Mal überblickt. Das erste Mittel, ein großes Gesichtsfeld zu erhalten, ist das, daß man die Oeffnung des Oculars recht groß macht,

aber es gibt auch hier eine Grenze, wenn nicht die Undeutlichkeit und die Verzerrung der Gegenstände am Rande zu groß und unerträglich werden soll. Man hat durch Versuche gefunden, daß man die Oeffnung eines Augenglases, wenn es gleichseitig convex oder planconvex ist, nicht größer machen darf, als dessen halbe Brennweite und hiernach bestimmt sich folglich das möglichst größte Gesichtsfeld, welches bei einem Fernrohre zu erreichen steht.

Wenn die Brennweite des Oculars abnimmt, so nimmt auch in demselben Verhältnisse die Oeffnung ab, die man ihm geben kann und folglich auch das Gesichtsfeld. Aus §. 130 folgt aber, daß die Vergrößerung zunimmt in eben dem Verhältniß, als die Brennweite des Oculars abnimmt und folglich nimmt das Gesichtsfeld bei wachsender Vergrößerung in gleichem Maas ab. Starke Vergrößerungen sind also immer mit einem kleinen Gesichtsfelde verbunden.

Aus der Oeffnung des Oculars, dessen Brennweite und der Brennweite des Objectivs läßt sich die Größe des Gesichtsfeldes berechnen. Ist nämlich die Oeffnung des Oculars z, so ist die Größe des Gesichtsfeldes

$$\frac{3438\,z}{p + p'} \text{ Minuten}$$

oder $$\frac{3438\,z}{p'\,(m+1)} \text{ Minuten,}$$

wo p, p′ und m die oben angeführte Bedeutung haben (§. 130).

Ist z. B. die Brennweite des Objectivs $p = 24$ Zoll, die des Oculars $= 1\frac{1}{2}$ Zoll, so ist die Vergrößerung $m = \frac{24}{1\frac{1}{2}} = 16$ mal und wenn man die Oeffnung z des Objectivs $= \frac{3}{4}$ Zoll nimmt, so er-

hält man für das Gesichtsfeld $\frac{3438 \times \frac{1}{4}}{1\frac{1}{2} \cdot (16+1)} = \frac{1719}{17}$ $= 101\frac{2}{17}$ Minuten, welches als ein großes gilt.

Macht man zum Gesetz, daß die Oeffnung des Oculars stets der halben Brennweite gleich seyn soll, $z = \frac{1}{2} p'$, so erhält man für das Gesichtsfeld eines astronomischen Fernrohrs den Ausdruck

$$\frac{1719}{m+1} \text{ Minuten.}$$

Da ein großes Gesichtsfeld eine Hauptbedingung für ein gutes Fernrohr ist, so hat man statt eines Oculars mehrere eingesetzt, um unter andern Vortheilen, die hier noch nicht erklärt werden können, auch das Gesichtsfeld zu vergrößern. Die einfachste Vorrichtung der Art ist die, daß man zum Oculare zwei biconvexe Linsen nimmt, die gleiche Brennweite haben und hart an einander gestellt sind. Wir wissen aus §. 90, daß eine solche Vorrichtung eben so wirkt, wie ein Sammelglas von nur halb so großer Brennweite, daher man die Vergrößerung findet, wenn man mit der halben Brennweite einer Ocularlinse in die Brennweite des Objectivs dividirt. Für die Vergrößerung wird hierdurch nichts gewonnen, denn die Brennweite des zusammengesetzten Oculars darf nicht geringer seyn, als die des einfachen, welches man mit einem gegebenen Objective verbinden darf, aber das Gesichtsfeld kann doppelt so groß gemacht werden, als es bei einem einfachen Oculare seyn würde; denn da die Brennweite einer jeden Linse des Doppeloculars doppelt so groß ist, als die des einfachen, so kann auch die Oeffnung, welche immer der halben Brennweite einer Linse gleich genommen werden kann, verdoppelt werden, wodurch natürlich das Gesichtsfeld auch verdoppelt wird.

Wir sehen, daß für die richtige Beurtheilung der Wirkung eines Fernrohrs die Strahlen, welche durch

die Mitte der Objectivlinse gehen, große Bedeutung haben und vor den übrigen besonders wichtig sind. Man hat sie daher Hauptstrahlen genannt, welches Ausdrucks wir uns auch in der Folge oft bedienen werden.

§. 132.

Ort des Auges und Oculardeckels.

Es entsteht die Frage, wo man eigentlich das Auge hinhalten müsse, um das ganze Gesichtsfeld, d. h. so viel als möglich zu übersehen; denn man wird finden, daß auf die richtige Entfernung des Auges vom Oculare gar viel ankommt. Die Antwort ist leicht zu geben; es muß nämlich das Auge **O** in dem Punkte der Axe stehen, wo sich die äußersten Hauptstrahlen **FVB**, **GVA** (Taf. **XXIII.** Fig. 2) mit der Axe vereinigen, denn dort vereinigen sich sehr nahe auch die Hauptstrahlen aller Punkte des Objects und es erhält das in **O** befindliche Auge Strahlen von allen Punkten des Objects, selbst diejenigen, die durch den Rand des Oculars hindurchgehen.

Wie weit der Punkt **O** vom Ocular entfernt liegt, ergibt sich leicht daraus, daß **O** nichts anderes ist, als der Vereinigungspunkt für die Strahlen, welche aus dem Punkte **V** der Axe zu kommen scheinen und durch das Ocular **AB** gebrochen werden. Multiplicirt man also die Entfernung des Punkts **V** vom Glase **AB**, d. h. die Distanz beider Linsen des Fernrohrs mit der Brennweite dieses Glases und dividirt das Product durch den Unterschied beider Größen, so ist der Quotient der Entfernung **WO** des Auges vom Oculare gleich (§. 81). Kürzer findet man indeß **WO** durch die Regel: es ist **WO** gleich der Brennweite des Oculars und einem so vielsten Theile derselben, als das Fernrohr vergrößert.

Ist z. B. die Brennweite des Oculars 2 Zoll und vergrößert das Fernrohr 12 mal, so ist die Entfernung des Auges $= 2 + \frac{2}{12}$ Zoll $= 2\frac{1}{6}$ Zoll.

Der Ort des Auges ist durch eine Formel ausgedrückt

$$p' + \frac{p'}{m}.$$

Denn für den Strahl VA ist der Abstand vom brechenden Glase $VW = p + p'$, die Brennweite dieses Glases $= p'$ und der Unterschied beider Größen $= p$, daher WC (§. 81) $= \frac{p'(p + p')}{p} = p' + \frac{p'}{p} \cdot p'$; aber $\frac{p'}{p} = m$ und daher die obige Formel.

Damit man den richtigen Ort des Auges, wenn man ins Fernrohr hineinsehen will, ohne Mühe gleich treffe, so hat die Röhre über das Ocular hinaus noch eine Verlängerung, welche bis nahe an den Punkt O geht und daselbst nur eine enge Oeffnung hat, die nicht viel größer zu seyn braucht, als die Pupille des Auges. Es ist auch einleuchtend, daß das Auge nicht in O zu stehen braucht, sondern so weit in den Strahlenkegel AOB hereingerückt werden kann, bis der Durchschnitt VW der Oeffnung der Pupille gleich wird. Daher geht der Fortsatz der Ocularröhre bei stark vergrößernden achromatischen Fernröhren, bei denen WO nur gering ist, nur bis zur Mitte von WO und hat daselbst einen Deckel mit einem kleinen Loche, welcher der Oculardeckel genannt wird.

§. 133.

Lichtstärke des Fernrohrs.

Es ist ohne Weiteres begreiflich, daß die Menge des Lichts, welches in ein Fernrohr eindringen kann, abhängig ist von der Größe der Oeffnung des Ob=

jectivs und zwar im Verhältnisse des Quadrats dieser Oeffnung seyn wird, weil die Fläche des Objectivs, wornach sich eigentlich die eindringende Lichtmenge richtet, in eben diesem Verhältnisse steht.

Es seyen nun **ZE** und **ze** (Taf. **XXIII.** Figur 3) unter allen den Strahlen, welche von einem Punkte auf das Objectiv fallen, die äußersten und **F** der gemeinschaftliche Brennpunkt beider Linsen, so kommen hierselbst alle Strahlen wieder zusammen und sind in dem Kegel **EFe** enthalten. Aber von **F** zerstreuen sie sich wieder in einen Kegel **Fgh**, dessen Grundfläche auf dem Augenglase liegt und werden endlich durch dieses Glas so gebrochen, daß sie parallel werden und einen Cylinder **gihk** bilden. In diesem sind, wie man leicht sieht, die Strahlen weit mehr zusammengedrängt, als am Objectiv und daher auch dichter, und die Dichtigkeiten verhalten sich umgekehrt wie die Flächen, auf welche das Licht verbreitet ist.

Es verhält sich der Durchmesser **gh** der Grundfläche des Kegels **gFh** oder der Durchmesser **ik** jedes senkrechten Durchschnitts des Strahlencylinders **gikh** zu dem Durchmesser **Ee** des Objectivs, wie **FW** zu **FV**, nämlich wie die Brennweite des Oculars zu der des Objectivs, also wie 1 zur Vergrößerungszahl (§. 130) und es ist daher **gh** ein so vielster Theil von **Ee**, als das Fernrohr vergrößert, oder es ist $ik = \frac{x}{m}$, wenn $Ee = x$ ist und **m** die Vergrößerungszahl bedeutet. Dieser Satz gilt für jedes Fernrohr, es mag aus so viel Gläsern bestehen, als es will.

Damit nun der Strahlencylinder **ighk** vom Auge aufgefaßt werden könne, muß sein Durchschnitt **ik** so groß seyn, als die Pupille, weil er, wenn er größer wäre, zum Theil nicht ins Auge gelangen

könnte und daher ein Theil des vom Objectiv aufgenommenen Lichts unnütz werden würde. Man hat durch Versuche gefunden und nimmt es in der Optik allgemein an, daß der Oeffnungsdurchmesser der Pupille, welcher bei verschiedenem Lichtreize sich ändert, im Mittel $\frac{1}{10}$ Zoll betrage und daher muß die Einrichtung des Fernrohrs so getroffen werden, daß **ik** $= \frac{1}{10}$ Zoll, oder $\frac{x}{m} = \frac{1}{10}$ Zoll wird, wobei die Oeffnung x des Objectivs in Zollen auszudrücken ist. Hieraus folgt, daß $m = 10\,x$ ist, nämlich man muß die in Zollen ausgedrückte Oeffnung des Objectivs mit 10 multipliciren, wenn man diejenige Vergrößerung erhalten will, bei welcher der Durchschnitt des Strahlencylinders am Auge der Pupille gleich wird.

Die Stärke des Lichts muß nach der Fläche gemessen werden, auf welcher es sich verbreitet; je kleiner diese ist, desto größer ist die Lichtstärke. Die Flächen des Durchschnitts **ik** und des Objectivs sind im Verhältnisse der Quadrate ihrer Durchmesser, nämlich im Verhältnisse x^2 zu $\frac{x^2}{m^2}$, also ist die Durchschnittsfläche des Cylinders **ghik**, mm mal kleiner, als die Fläche des Objectivs und daher die Lichtstärke mm mal größer. Hiernach könnte es scheinen, als ob man die Gegenstände im Fernrohre mm mal heller sähe, als mit bloßem Auge, allein man muß überlegen, daß das Fernrohr die Längendimensionen m mal, also die Flächen mm mal vergrößert, wodurch das vorher mm mal vermehrte Licht wieder mm mal vermindert wird, welches sich gerade aufhebt.

Hiernach müssen wir die Lichtstärke in dem Strahlencylinder **gihk** im Bezug auf unsere Empfindung der an der Fläche des Objectivs gleich setzen, so daß nämlich der Lichtcylinder **gikh** keinen andern Reiz in

unserm Auge verursacht, als ein vom Object unmittelbar ins Auge gelangender gleich starker Cylinder. Wenn daher der Durchschnitt ik der Oeffnung der Pupille gleich ist, so wird auch die Helligkeit durchs Fernrohr der mit bloßen Augen gleich werden. Wäre aber ik größer, als die Pupille, so würde der Ueberschuß der Strahlen gar nicht ins Auge dringen können und daher immer noch die Helligkeit der natürlichen, d. h. der mit bloßen Augen gleich seyn.

Wenn aber ik kleiner ist, als die Oeffnung des Auges, so wird die Helligkeit auch kleiner seyn, als die mit bloßen Augen, weil dann die Pupille einen stärkern Lichtcylinder fassen könnte, und zwar nimmt die Helligkeit in eben dem Grade ab, als das Quadrat von ik kleiner ist, als das Quadrat der Oeffnung der Pupille. — Daher ist keine Vorrichtung durch Gläser denkbar, bei welcher die Helligkeit größer würde, als mit bloßen Augen. Indessen möchte dieser Schluß doch nicht in aller Strenge gelten können, weil sonst nicht zu begreifen wäre, wie Herschel mit seinem 20füßigen Telescop in einer Nacht, wo man mit bloßen Augen nichts sehen konnte, doch die Thürme der Stadt erkannte.

§. 134.

Da die Helligkeit ein nothwendiges Erforderniß eines guten Fernrohrs ist, so wird man die Vergrößerung nie zu weit treiben dürfen, damit ik nicht zu klein werde und die Helligkeit zu sehr abnehme, am rathsamsten wäre es daher, ik dem Durchmesser der Pupille $= \frac{1}{10}$ Zoll zu machen, damit die Gegenstände eben so hell erscheinen, als mit bloßem Auge. Es müßte daher $\frac{x}{m} = \frac{1}{10}$ seyn, wie schon im vorigen §. gezeigt wurde, allein man wird sich oft nur damit begnügen müssen, daß $\frac{x}{m} = \frac{1}{20}, \frac{1}{30}$, ja selbst

$\frac{1}{40}$ wird. Nach Euler darf $\frac{x}{m} = \frac{1}{25}$ seyn und darnach bestimmt sich also die Vergrößerung, die man bei einem Objective anbringen kann, wenn man dessen in Zollen ausgedrückte Oeffnung mit 25 multiplicirt. Hätte z. B. das Objectiv eine Oeffnung von 4 Zollen, so dürfte die Vergrößerung $4 \times 25 = 100$fach seyn. Es kommt dabei freilich viel auf die Erleuchtung der Gegenstände selbst an und namentlich darauf, ob sie selbstleuchtend sind oder nicht. Auf Gegenstände der Erde wird man daher nie so starke Vergrößerungen anwenden können, als auf die Gestirne und unter diesen vertragen Fixsterne eine stärkere Vergrößerung, als die Planeten. Kleine Sternchen, z. B. die Jupiterstrabanten, kleine Kometen erfordern Fernröhre mit großen Oeffnungen, ohne eben starke Vergrößerungen.

Die Lichtstärke eines Fernrohrs schätzt man durch Vergleichung des Durchschnitts i k mit der Oeffnung der Pupille $\frac{1}{10}$ Zoll, sie steht, wie wir schon gesehen haben, im umgekehrten Verhältnisse der Quadrate dieser Größen und wird daher ausgedrückt durch

$$\frac{100\,xx}{mm},$$

wobei die Helligkeit mit bloßen Augen als Einheit vorausgesetzt wird.

In dem oben erwähnten Hugenianischen Fernrohre z. B. war $x = 3$ Zoll, $m = 109$, daher die Lichtstärke nahe $= \frac{1}{13}$ von der mit bloßen Augen, welches freilich wenig ist.

§. 135.

Mängel des astronomischen Fernrohrs wegen der Farbenzerstreuung.

Die Farbenzerstreuung ist das größte Hinderniß für alle dioptrischen Fernröhre und verursacht eine Un-

deutlichkeit, welche uns nöthigt, die Länge des Rohrs selbst bei nicht gar starken Vergrößerungen bis auf eine erstaunliche Größe auszudehnen. Sie verursacht, wie wir in §. 101 gesehen haben, daß die verschiedenen Strahlen in zusammengesetztem Licht in verschiedenen Punkten der Axe sich vereinigen, z. B. die rothen in r (Taf. XXIII. Fig. 3) und die violeten in v, und es kann daher unmöglich das Augenglas W so gestellt werden, daß es alle Strahlen unter sich parallel mache; denn wenn sein Brennpunkt in F fällt, wo die gelbgrünen Strahlen durch das Objectiv gesammelt werden, so werden zwar diese parallel werden, aber die violeten müssen convergirend, die rothen divergirend aus dem Augenglase heraustreten. Das Augenglas vermehrt die Zerstreuung noch um etwas, aber nicht bedeutend, daher man auch meistentheils die Ocularzerstreuung unberücksichtigt läßt. Denn hätte das Ocular gar keine Farbenzerstreuung, so würde es z. B. seinen violeten Brennpunkt ebenfalls in F haben, und die aus dem violeten Brennpunkte v des Objectivs kommenden Strahlen so brechen, wie es seiner Brennweite und dem Abstande v W angemessen ist. Aber die Brennweite W v' der violeten Strahlen des Oculars ist kürzer, als die der mittlern, daher die von v kommenden violeten Strahlen auch stärker gebrochen werden, als wenn das Ocular gar keine Farben zerstreute.

Wenn nun das Ocular so gestellt ist, daß der Gegenstand am deutlichsten erscheint, so treffen die Brennpunkte der mittlern Strahlen von beiden Gläsern in F zusammen und die übrigen zerstreuen sich in dem Abweichungskreise, dessen Halbmesser FR wir in §. 102 bestimmt haben und der an seinem Rand einen farbigen, rothen oder violeten Saum hat, je nachdem das Ocular dem Objectiv etwas näher oder ferner steht. Dieser Abweichungskreis, in welchen

das Bild eines Punktes sich zerstreut, läßt sich auch betrachten als das Bild eines Objects, welches entstehen würde, wenn das Objectiv gar keine Farbenabweichung hätte und der Winkel, unter welchem dieses Object vom Mittelpunkte des Glases aus erscheinen würde, wäre **FVR**; durch das Ocular gesehen, wird dieser Winkel so vielmal vergrößert, wie jeder andere Sehwinkel und kann daher sehr groß erscheinen, wenn er gleich an sich nur gering ist. Nach dem Winkel **FWR**, unter welchem der Abweichungskreis durch das Ocular erscheint und welcher der nach Maasgabe der Vergrößerung des Fernrohrs vergrößerte Winkel **FVR** ist, wird die Undeutlichkeit geschätzt, welche von der Farbenzerstreuung hervorgebracht wird.

§. 136.

Der Winkel **FWR** (Taf. **XXIII.** Fig. 3) kann mehrere Minuten betragen, ohne daß die Undeutlichkeit des Fernrohrs unerträglich wird, obschon, wie sich von selbst versteht, die Gegenstände desto deutlicher erscheinen, je kleiner jener Winkel ist. Zum höchsten darf er einen halben Grad betragen, welches schon ziemlich viel ist. Aber trotz dem muß bei starken Vergrößerungen die Länge des Rohrs doch ungemein lang werden, wenn die Farbenabweichung nicht allzu groß werden soll, weil der Winkel **FWR** ungefähr in eben dem Verhältnisse wächst, wie die mit sich selbst multiplicirten Vergrößerungszahlen, und nur in dem Verhältnisse abnimmt, wie die Brennweite des Objectivs zunimmt, daher die Zunahme der letztern im Verhältnisse der mit sich selbst multiplicirten Vergrößerungszahlen seyn muß.

Denken wir uns nämlich zuerst, die Vergrößerungen sollten sämmtlich mit einem Objective von derselben Brennweite zu Stande gebracht werden, so

ist klar, daß, wenn die Helligkeit in allen Fällen dieselbe bleiben soll, auch die Dicke ik des Strahlencylinders ghki am Auge dieselbe bleiben muß, und da ik zunimmt wie die Oeffnung, abnimmt aber wie die Vergrößerung wächst (§. 133), so muß für eine doppelt so starke Vergrößerung das Objectiv auch die doppelte Oeffnung bekommen, für eine dreimal so starke Vergrößerung die dreifache Oeffnung u. s. w.; überhaupt müssen sich die Oeffnungen des Objectivs, wie die Vergrößerungszahlen verhalten. In eben dem Verhältnisse steht auch der Halbmesser FR des Abweichungskreises und der Winkel FVR. Aber der Halbmesser FR wird unter dem Winkel FWR gesehen, welches der 10, 20, 30 mal u. s. w. vergrößerte Winkel FVR ist, wenn m das Fernrohr 10, 20, 30 mal u. s. w. vergrößert und hieraus ist klar, daß, wenn z. B. bei 10maliger Vergrößerung der Winkel FWR = 15 Minuten wäre, er bei 20maliger 2·2·15 = 60 Minuten, bei 30maliger 3·3·15 = 136 Minuten u. s. w. werden würde, oder überhaupt wachsen muß, wie die Quadrate der Vergrößerungszahlen.

Aber der Winkel FAR und folglich FWR nimmt ab, wie die Brennweiten VF des Objectivs zunehmen, und wenn diese Abnahme die Zunahme durch die Vergrößerung wieder aufheben soll, so muß eben die Brennweite in dem Maase verlängert werden, als die mit sich selbst multiplicirte Vergrößerungszahl wächst, und dann hat in allen Fernröhren der Winkel FWR gleiche Größe, oder die Undeutlichkeit und Deutlichkeit ist gleich groß. — Bei dieser Betrachtung ist jedoch die Zerstreuung des Oculars nicht mit gerechnet und in der That beträgt sie so wenig, daß sie immer gegen die weit größere Zerstreuung des Objectivs außer Acht gelassen werden kann.

Wenn nun z. B. das Hugenianische Fernrohr bei einer Länge von 30 Fuß 109 mal vergrößerte, ohne daß die Farbenabweichung unerträglich war, so wird zu einer doppelt so starken Vergrößerung ein Objectiv von 4 × 30 = 120 Fuß gehören und dann würde der Winkel **FWR** noch eben so groß seyn, als im ersten Fernrohre. Hieraus sieht man, wie lang man die Fernröhre machen muß, wenn man dem Einflusse der Farbenzerstreuung zuvorkommen will. Ehedem kannte man auch kein anderes Mittel gegen diesen Nachtheil, als die Vergrößerung der Brennweiten, welche man bis auf 300 Fuß ausdehnte, ja ein französischer Künstler (Artiquel) hat ein Objectiv von 600 Fuß Brennweite verfertigt, welches aber nicht in Gebrauch gekommen ist. Dergleichen Fernröhre konnten natürlich ihrer Länge wegen nicht in Röhren gefaßt werden, sondern man stellte das Objectiv auf einen hohen Ort, z. B. ein Haus, eine hohe Stange, und betrachtete das Bild mittels eines in der Hand gehaltenen Oculars. Da jetzt dergleichen Vorrichtungen nicht mehr im Gebrauch sind, so übergehen wir ihre nähere Beschreibung.

§. 137.

Bei verschiedenen Fernröhren müssen sich also die Brennweiten der Objective wie die Quadrate der Vergrößerungszahlen, die Oeffnungen derselben wie die Vergrößerungszahlen selbst verhalten. Nach dieser Regel hat Huyghens eine Tabelle berechnet, aus welcher man abnehmen kann, wie weit man die Vergrößerung bei einem Objective von gegebener Brennweite treiben dürfe, und es liegt dabei sein oft genanntes Fernrohr mit einem Objective von 30 Fuß Brennweite und 3 Zoll Oeffnung und einem Oculare von $3\frac{3}{10}$ Zoll Brennweite zu Grunde. Bei allen diesen Fernröhren wird der Winkel **FWR**, un-

ter welchem der Halbmesser des Abweichungskreises gesehen wird, 28,6 Minuten. Die Tabelle ist folgende:

Brennweite des Objectivs.	Brennweite des Oculars.	Halbe Oeffnung des Objectivs.	Vergrößerung.
Zoll.	Zoll.	Zoll.	
12	0·61	0·27	20
24	0·85	0·38	28
36	1·05	0·47	34
48	1·20	0·54	40
60	1·35	0·61	44
72	1·47	0·67	49
84	1·60	0·72	53
96	1·71	0·77	56
108	1·80	0·82	60
120	1·90	0·86	63
156	2·17	0·98	72
180	2·32	1·06	77
240	2·70	1·22	89
300	3·01	1·37	100
360	3·30	1·50	109
420	3·56	1·62	118
480	3·81	1·73	126
540	4·04	1·83	133
600	4·26	1·93	141
660	4·47	2·03	148
720	4·66	2·12	154
840	5·04	2·29	166
960	5·39	2·45	178
1080	5·72	2·60	189
1200	6·03	2·74	199

Man sieht also hieraus, daß man mit einem Objective von 100 Fuß Brennweite nahe eine 200malige Vergrößerung erhalten kann. Mayer nahm aber zu einem Objective von 360 Zoll Brennweite und 2·6 Zoll Oeffnung ein Ocular von 5·77 Zoll Brennweite, wornach die Vergrößerung nur 62,39fach, aber dafür auch die Deutlichkeit weit erheblicher ist, als im Hugenianischen Fernrohre von eben der Länge; denn der Halbmesser FR des Farbenzerstreuungskreises wird nur unter dem Winkel von 13·7 Minuten gesehen. Nach diesem Fernrohre berechnete Mayer folgende Tabelle für die mit andern Objectiven zu erreichenden Vergrößerungen:

Brennweite des Objectivs.	Brennweite des Oculars.	HalbeOeffnung des Objectivs.	Vergrößerung.
Zoll.	Zoll.	Zoll.	
12	1·09	0·23	11·0
24	1·52	0·33	15·7
36	1·84	0·41	19·5
48	2·13	0·47	22·5
60	2·38	0·52	25·2
72	2·60	0·57	27·7
84	2·81	0·62	29·9
96	3·00	0·66	32·0
108	3·18	0·70	34·0
120	3·35	0·78	35·8
144	3·65	0·83	39·3
168	3·95	0·88	42·5
192	4·22	0·94	45·5
216	4·47	1·00	48·3
240	4·71	1·06	50·9

Brennweite des Objectivs.	Brennweite des Oculars.	Halbe Oeffnung des Objectivs.	Vergrößerung.
Zoll.	Zoll.	Zoll.	
300	5·24	1·18	57·1
360	5·77	1·30	62·4
420	6·23	1·40	67·3
480	6·65	1·50	72·2
500	7·04	1·59	76·5
600	7·42	1·68	80·6
720	8·14	1·84	88·4
840	8·78	1·99	95·4
960	9·39	2·13	102·1
1080	9·96	2·26	108·4
1200	10·49	2·38	114·4

Man gebraucht längere astronomische Fernröhre mit einem einfachen Objective, wie das bisher beschriebene, heut zu Tage gar nicht mehr und kürzere nur bei Meßinstrumenten von geringerem Werthe, z. B. bei den Kippregeln des Meßtisches.

§. 138.

Abweichung wegen der Kugelgestalt und Halbmesser der Undeutlichkeit.

Wir haben in §. 98 gesehen, daß durch die Abweichung wegen der Kugelgestalt die Strahlen, welche von einem und demselben Punkt eines Gegenstandes ausfahren, vom Objective nicht wieder genau in einem Punkte gesammelt, sondern gleichfalls in einen Kreis zerstreut werden, dessen Halbmesser **FR** seyn mag (Taf. **XXIII.** Fig. 3). Wir wissen auch, daß es hier einen kleinsten Abweichungskreis gibt, der alle

Strahlen, die von einem Punkt auf das Objectiv fallen, faßt und haben ihn zum Maaße für die Undeutlichkeit wegen der Kugelabweichung genommen. Es sey daher FR der Halbmesser dieses kleinsten Abweichungskreises. Wir können ihn als das Bild eines Objects betrachten, welches vom Mittelpunkte des Objectivs aus gesehen unter dem Winkel FAR erscheint, durch das Ocular aber unter dem in eben dem Maase vergrößerten Winkel FWR gesehen wird, als das Fernrohr die Gegenstände überhaupt vergrößert. Diesen Winkel nennen wir den **Halbmesser der Undeutlichkeit** und die Beobachtungen haben gezeigt, daß er nicht leicht über eine Secunde gehen darf, wenn der Deutlichkeit des Bildes kein Eintrag geschehen soll, woraus man auch abnehmen kann, wie groß höchstens der Winkel FVR seyn dürfe. Der Halbmesser der Undeutlichkeit wird noch um etwas vermehrt durch die Abweichung des Oculars, allein der Antheil desselben ist nur etwa dem Winkel FVR gleich und kann also bei starken Vergrößerungen gänzlich außer Acht gelassen werden.

Damit nun der Halbmesser der Undeutlichkeit nicht zu groß werde, muß man die Brennweite des Objectivs bei einer gegebenen Oeffnung desselben hinlänglich groß nehmen, oder umgekehrt, bei gegebener Brennweite die Oeffnung im richtigen Maase verkleinern. Daher man den Rand des Objectivs mit einem Ringe von Pappe, Holz u. dergl. zu verdecken pflegt, wenn die Oeffnung noch zu groß ist. Den Durchmesser der noch freien Fläche des Objectivs nennt man seine Apertur und es ist klar, daß auch die Farbenabweichung auf ähnliche Weise, nur noch in höherem Grade, als die Kugelabweichung, die Apertur des Objectivs beschränkt. Wenn daher die Oeffnung vermittels der in §. 107 aufgestellten Hugenianischen oder Mayerschen Tafel für die Farbenabweichung rich-

tig bestimmt ist, so ist dadurch auch zugleich der Halbmesser der Undeutlichkeit so weit herabgebracht, daß er auf die Deutlichkeit des Bildes im Fernrohre keinen merklichen Einfluß mehr ausüben kann.

Wir wollen dieses an einem Beispiele rechnend erläutern. Es sey z. B. die Brennweite des Objectivs = 60 Zoll, so muß nach der Hugenianischen Tafel seine halbe Oeffnung = 0·61 Zoll seyn und es ist daher in der Formel $\frac{x \cdot L}{4p}$ (§. 100), wodurch der Halbmesser FR des kleinsten Abweichungskreises ausgedrückt wird p = 60, x = 0·61. Nehmen wir nun die Objectivlinse planconvex und das Brechungsverhältniß = $\frac{3}{2}$, so ist die Längenabweichung L = $\frac{7}{6}\frac{xx}{p}$, und daher der Halbmesser des kleinsten Abweichungskreises = $\frac{7x^3}{24p^2}$ = FR. Dividiren wir diesen durch die Brennweite VF = p des Objectivs, so erhalten wir den Winkel FVR, unter denen FR aus der Mitte des Objectivs gesehen wird, daher FVR = $\frac{7x^3}{24p^3}$ in Theilen des Halbmessers, und es ist der Quotient $\frac{7x^3}{24p^3}$ nur noch mit 206265 zu multipliciren, um den Winkel FVR in Secunden zu erhalten. Berechnen wir dieses (am leichtesten geschieht es mit Logarithmen), so erhalten wir für den Winkel FVR 0·063 Secunde. Den Halbmesser FR sieht man aber mittels des Oculars unter dem Winkel FWR, welcher der 44 mal vergrößerte Winkel FVR ist, da, wie aus der Hugenianischen Tabelle ersichtlich, ein Objectiv von 60 Zoll Brennweite eine 44fache Vergrößerung gibt. Folglich ist FWR, das ist der Halbmesser der Undeutlich-

keit, $= 0{\cdot}063 \times 44 = 2{,}77$ Secunden, welches noch nicht merklich wird.

Nimmt man das Objectiv und das Ocular beide gleichseitig, das Brechungsverhältniß $= 1{\cdot}55$, so erhält man für den Halbmesser der Undeutlichkeit die Formel

$$1314 \cdot \frac{(m+1)\,x^3}{p^3} \text{ Minuten,}$$

in welcher zugleich der Antheil des Oculars mit enthalten ist; ohne diesen Antheil würde man haben

$$1314 \, \frac{m\,x^3}{p^3}$$

und hieraus kann man sehen, daß die Abweichung, welche durch das Ocular erzeugt wird, immer nur gegen die des Objectivs gering ist, sobald die Vergrößerungszahl m nur einigermaasen beträchtlich ist.

§. 139.

Der farbige Rand.

Wenn man nach Anleitung des in den vorigen §§. Gelehrten die Farbenabweichung eines astronomischen Fernrohrs so gering gemacht hat, daß sie vom Auge nicht mehr empfunden wird, so gilt dieses dennoch nur von den nahe an der Axe gelegenen Punkten, aber nahe am Rande des Gesichtsfeldes wird man die Gegenstände dennoch noch gefärbt erblicken, und zwar nach außen hin mit einem violeten, nach innen mit einem rothen Rande. Diese farbigen Ränder werden durch die Zerstreuung des Oculars hervorgebracht und zwar auf folgende Weise:

Es sey VW (Taf. XXIII. Fig. 4) die Axe eines astronomischen Fernrohrs und VE ein Strahl, der von einem außerhalb der Axe gelegenen Punkte des Gegenstands durch die Mitte des Objectivs geht. Da dieser keine Brechung erleidet, so kann er auch

nicht in Farben zerstreut werden und kommt daher, wenn er vorher weiß war, auch weiß beim Ocular in E an. Vom Ocular aber wird er zerstreut und zwar so, daß die mittlern in dem Punkte m, die violeten in v und die rothen in r die Axe schneiden. Man sieht daher auch mehrere farbige Bilder von dem Punkte, woher der Strahl VE kommt, ein rothes in der Richtung rr' und ein violetes in der Richtung vv', zwischen ihnen aber vermischen sich die farbigen Strahlen und zeigen das Bild in der natürlichen Farbe, am deutlichsten in der Richtung mm. Hieraus erklärt sich denn, wie der violete Rand nach außen, der rothe nach innen gesehen wird. Beide Ränder sind aber, wie sich von selbst versteht, nur dann sichtbar, wenn das am Rande liegende Bild eines Gegenstandes nach innen sich nicht mit andern Bildern vermischt.

Die Größe des farbigen Randes mißt man durch den Winkel vEm, den die violeten Strahlen mit den mittlern am Einfallspunkte E machen und welcher nichts anderes ist, als der Unterschied der Winkel WvE und WmE, welche eben diese Strahlen mit der Axe machen. Daraus ist klar, daß man den farbigen Rand vermindern kann, wenn man die Oeffnung des Oculars vermindert, da aber hierdurch auch das Gesichtsfeld verengert wird, so kann dieses Mittel höchstens nur sehr beschränkte Anwendung finden. Aber wenn man statt eines Oculars mehrere nimmt und ihre Brennweiten, so wie ihren Abstand nach erforderlichen Verhältnissen einrichtet, so können die violeten, rothen und mittlern Strahlen nach ihrem Austritt aus dem letzten Oculare parallel werden, wodurch der farbige Rand verschwindet. Von dergleichen Ocularen werden wir jedoch später handeln.

§. 140.

Das Erdfernrohr (terrestrisches Fernrohr).

Die umgekehrte Lage des Bildes verursacht bei der Beobachtung der Gestirne keine Unbequemlichkeit, irdische Gegenstände wünscht man indeß doch lieber durch das Fernrohr aufrecht zu sehen. Um aber diesen Zweck zu erreichen, muß man zu dem einen Oculare des astronomischen Fernrohrs noch mehrere hinzufügen.

Das einfachste aller Erdfernröhre ist das vom Pater de Rheita erfundene, welches aus dem convexen Objectiv A (Taf. XXIII. Fig. 5) und den drei convexen Augengläsern B, C, D besteht. Die beiden ersten Gläser A und B stehen um die Summe ihrer Brennweiten von einander ab und wirken daher für sich allein gerade wie ein astronomisches Fernrohr, indem im Brennpunkte des Objectivs ein umgekehrtes Bild G von einem entlegenen Gegenstand erzeugt wird, dessen von einem und demselben Punkt ausgehende Strahlen durch das Ocular wieder unter sich parallel gemacht werden. Die beiden Gläser C und D stehen ebenfalls um die Summe ihrer Brennweiten von einander ab und bilden daher gleichsam ein zweites astronomisches Fernrohr, von dem C das Objectiv, D das Ocular ist. Nämlich auf das Glas C fallen die Strahlen des Bildes G, nachdem sie durch das Ocular B gebrochen worden, gerade so, wie wenn sie von einem sehr weit entlegenen Gegenstande herkämen, und es muß daher in H, dem Brennpunkte des Glases C, ein umgekehrtes Bild des Bildes G, d. h. ein aufrechtes vom Gegenstande selbst entstehen, welches durch das Ocular D betrachtet wird und daher in dem Brennpunkte dieses Glases liegen muß.

Im Bezug auf die drei Augengläser **B**, **C**, **D** lassen sich mancherlei Einrichtungen gedenken und die vollkommenste unter allen wird diejenige seyn, wodurch allen Erfordernissen eines guten Fernrohrs möglichste Genüge geschieht, daß also ein großes Gesichtsfeld erreicht und Aufhebung des farbigen Randes bewirkt wird.

§. 141.

Die älteste und einfachste Einrichtung entspricht jedoch diesen Erfordernissen nicht. Nach Muschenbroeck, Wolf und andern sollen die drei Augengläser gleichseitig seyn, gleiche Brennweite haben und ihrer zwei um die Summe ihrer Brennweiten abstehen. Die Vergrößerung wird dann der Vergrößerung des astronomischen Fernrohrs gleich, welches das Objectiv mit dem Oculare **B** bildet; denn die Strahlen treten aus dem Oculare **B** so, als ob sie von einem entfernten Gegenstande kämen, der dem so viel mal vergrößerten wirklichen Gegenstande gleich ist, als die Vergrößerung des Fernrohrs aus den Gläsern **A** und **B** beträgt. Diesen vergrößerten Gegenstand betrachtet man aber durch das Fernrohr aus den Gläsern **C** und **D**, welches nicht weiter vergrößert, da beide Gläser gleiche Brennweite haben.

Dergleichen Erdfernröhre werden noch heut zu Tage viel verfertigt und an solche Leute verkauft, die sich kein theueres Instrument anschaffen können. In der That ist es auch am leichtesten herzustellen, da die drei Oculare **B**, **C** und **D** sämmtlich mittels einer einzigen Schale geschliffen werden können. Die Röhre, worein die Gläser gefaßt sind, macht man aus Papier, das man mehrfach über einander klebt, so lange bis sie gehörige Stärke hat. Sie besteht aus mehreren kleinern Röhren, die sich in einander verschieben lassen und ganz zusammengeschoben wer-

den, wenn man das Instrument nicht gebraucht. Das Verfahren ist folgendes:

Man läßt sich von Holz einen genau cylindrischen Stab von der Stärke drehen, als die Weite der engsten Röhre im Lichten betragen soll. Um diesen Stab schlägt man ein Papier von mittelmäßiger Stärke, welches an der innern Seite mit schwarzer, aber nicht glänzender Farbe angestrichen ist, und leimt es mit den über einander greifenden Enden zusammen, wobei man sich zu hüten hat, daß es nicht am Stabe klebt und doch genau an ihn anschließt. Um dieses Papier klebt man wieder Papier und so fort, bis die Röhre die Stärke hat, bei welcher sie sich nicht mehr biegen kann. Zugleich muß man Sorge tragen, daß die Röhre recht glatt wird und überall gleiche Stärke bekommt.

Ueber diese Röhre verfertigt man eben so eine zweite, über die zweite eine dritte und so fort, bis alle Röhren, wenn sie ausgezogen werden, die zum Fernrohr erforderliche Länge besitzen. Die einzelnen Züge müssen aber auch noch gehörig weit über einander greifen, damit das ausgezogene Rohr sich nicht biege.

An das dem Auge zugekehrte Ende der engsten Röhre wird ein aus Holz oder Horn gedrehter hohler Aufsatz angeleimt, welcher die Form Fig. 6 (Tafel **XXIII.**) hat und so weit hervorspringt, daß das in die Oeffnung **O** hineinsehende Auge das ganze Gesichtsfeld übersieht. Daher kann die Länge dieses Ansatzes etwas geringer gemacht werden, als die Brennweite des letzten Oculars. Ueber die Oeffnung **O** kann ein Deckel geschraubt werden.

Jede Röhre bekommt an dem Ende, womit es auf der vorhergehenden aufsitzt, einen hölzernen oder hörnernen Ring, damit sie sich nicht abstoße; am an-

dern Ende aber wird inwendig ein ähnlicher Ring eingeleimt.

Um das Objectivglas in die äußerste Röhre zu fassen, wird ein etwas breiter Ring entweder auf- oder eingeleimt. Der Vorsprung aa (Taf. **XXIII.** Fig. 7) wird in die Röhre gesetzt. In die Oeffnung bei b kommt das Objectiv zu liegen und ruht auf dem Vorsprunge dd, auf welchem es mittels eines Ringes, der in die Oeffnung b eingeschraubt wird, festgehalten werden kann. Das Loch c ist so groß, als die Oeffnung des Objectivs seyn darf, wäre es aber größer, so muß man dem Objective durch einen aufgelegten papiernen und geschwärzten Ring die rechte Bedeckung geben. Dieser Objectivhalter kann durch einen aufgeschraubten Deckel geschlossen werden, damit das Objectiv vor Beschädigung bewahrt wird, wenn man das Fernrohr nicht gebraucht.

Die drei Oculare werden in eine besondere Röhre gefaßt, welche in den Zug, welcher dem Auge zunächst liegt, eingeschoben wird. Diese Röhre kann in der Mitte aus einander geschraubt werden und hier befindet sich das mittlere Ocular, welches in einem hölzernen Ringe ruht und durch den angeschraubten andern Theil der Röhre festgehalten wird. Die beiden andern Oculare befinden sich am Ende der Röhre und werden auf ähnliche Art befestigt, wie das Objectiv.

Das Ocular wird so weit in die genannte Hülse des Fernrohrs eingeschoben, bis sie an den hölzernen oder hörnernen Ansatz O stößt, in welchen man hineinsieht und muß auf der andern Seite etwas hervorstehen, damit man sie herausziehen kann, wenn es nöthig ist, die Oculare vom Schmuz zu reinigen.

Man zieht das Rohr so weit aus, bis man sehr entlegene Gegenstände deutlich sieht, und bemerkt den Ort, wo das Ende jeder Hülse auf der nächsten innern sich befindet, durch einen Strich, damit man je-

desmal ohne Mühe das Rohr wieder gehörig auszie=
hen kann. Die letzte Röhre, in welcher die Oculare
sich befinden, muß dann gewöhnlich nach Beschaffen=
heit der Augen oder nach der Nähe des Objects noch
ein wenig verrückt werden, um deutlich sehen zu
können.

Man muß auch dafür Sorge tragen, daß die
Axen aller Gläser genau in eine und dieselbe gerade
Linie, die Axe des Rohrs, fallen, weil eine Abwei=
chung der Art dem deutlichen Sehen gar sehr hinder=
lich ist. Diese Absicht erreicht man dadurch, daß die
Röhren genau cylindrisch und da, wo Gläser einge=
setzt werden, genau gegen die Axe senkrecht abgeschnit=
ten sind und daß endlich jedes Glases Mitte mit der
Mitte der Röhre zusammenfällt und gegen die Axe
derselben senkrecht steht.

Um alles dasjenige Licht abzuhalten, welches im
Rohr unordentlich zerstreut ist und das der Deutlich=
keit des Bildes nachtheilig seyn würde, wenn es sich
mit ihm mischte, setzt man die Blendungen, Dia=
phragmen ein, welches hölzerne Ringe sind, die in
die Röhre an gewissen Orten eingesetzt werden und
nur das dem Bilde gehörige Licht durchlassen. Solche
Blendungen kann man da einsetzen, wo die äußersten
Hauptstrahlen die Axe schneiden, also beim Erdrohre
zwischen den Ocularen **B** und **C** (Fig. 5) in **K**.
Dieser Punkt **K** ist kein anderer, als derjenige, wo
das Auge stehen müßte, um das Gesichtsfeld des aus
den Linsen **A** und **B** bestehenden astronomischen Fern=
rohrs ganz zu übersehen und kann daher nach §. 132
leicht bestimmt werden. Hier drängen sich alle Strah=
len, die vom Object auf das Objectiv gefallen sind,
in einen sehr engen Raum zusammen und es kann
daher auch die Oeffnung der Blendung sehr eng seyn
und dadurch geschickt werden, recht viel falsche Strah=
len abzuhalten. Doch muß man sich hüten, daß sie

nicht zu klein wird und durch Auffangen von Strahlen des Bildes der Helligkeit Eintrag thut. Man kann auch an andern Stellen der Röhre Blendungen anbringen, z. B. an dem Orte des letzten Bildes bei **H**, nur dürfen sie nicht zu eng seyn, daß dadurch die Helligkeit oder das Gesichtsfeld nicht leidet.

Endlich bemerken wir noch, daß man beim Erdrohre für ein gegebenes Objectiv die Vergrößerung nicht weiter treiben darf, als es ein astronomisches Fernrohr mit demselben Objective gestattet, ja man wird lieber die Vergrößerung noch etwas geringer nehmen, weil das Licht durch mehrere Gläser hindurch gehen muß und daher von seiner Intensität mehr verliert, als bei einem astronomischen Fernrohre.

Die dreifachen Oculare anderer Einrichtung, so wie die vierfachen, durch die nicht bloß die aufrechte Stellung des Bildes erzielt, sondern auch das Gesichtsfeld vergrößert und der farbige Rand vernichtet wird, werden wir weiter unten beschreiben.

§. 142.

Das holländische oder galileische Fernrohr.

Dieses ist unter allen Fernröhren zuerst von holländischen Brillenmachern erfunden worden, woher es den Namen hat; nachher erhielt Galilei unbestimmte Nachricht von dieser Erfindung und brachte es durch eigenes Nachdenken heraus, und da er seine Einrichtung sogleich öffentlich bekannt machte, so wurde es nachher meistentheils nach seinem Namen benannt. Es besteht aus einem converen Objectiv und einem concaven Oculare, die um die Differenz ihrer Brennweiten abstehen und stellt zwar die Gegenstände aufrecht dar, hat aber nur ein kleines und lange nicht so bequemes Gesichtsfeld, als das astronomische oder terrestrische und wird daher mit nur geringer Länge

und folglich nur geringen Vergrößerungen blos als Taschenperspectiv benutzt, woher es auch den Namen Operngucker erhalten hat.

Das convexe Ocular V (Tafel XXIV. Fig. 1) hat eine längere Brennweite und kann für sich allein in seinem Brennpunkte das umgekehrte Luftbild **ab** des Gegenstandes **AB** entwerfen. Ehe aber dieses Bild zur Wirklichkeit kommen kann, werden seine Strahlen von dem concaven Oculare **MN** aufgefangen und zum zweitenmal gebrochen. Dieses Glas ist so gestellt, daß es mit dem Objective die Axe gemein hat und daß sein Zerstreuungspunkt mit dem Brennpunkte **a** des Objectivs zusammenfällt, und es muß daher alle die Strahlen, welche nach einem und demselben Punkte des Bildes, z. B. nach **a** oder **b** zulaufen, so brechen, daß sie unter sich parallel werden. Wenn daher ein Auge mittels Parallelstrahlen deutlich sieht, so muß es auch nothwendig durch diese Vorrichtung den Gegenstand **AB** sehen, nur unter einem vergrößerten Sehwinkel, obschon hier nicht, wie beim astronomischen Fernrohre, ein eigentliches Luftbild entsteht.

Die Strahlen **AC**, **AD**, die von dem in der Axe liegenden Punkt **A** des Objects kommen, werden vom Objective so gebrochen, daß sie die Richtungen **Cc**, **Dd** annehmen, vermöge welcher sie nach dem Punkt **a** der Axe zulaufen, welcher das Bild von **A** vorstellt. In **a** aber ist zugleich der Zerstreuungspunkt des Oculars und es wird daher durch dessen Brechung die Convergenz der genannten Strahlen dahin geändert, daß sie mit der Axe parallel in den Richtungen **cc′**, **dd′** fortgehen. Alle Strahlen, welche von **A** kommen, formiren daher nach dem Austritt aus dem Ocular einen Cylinder **cdd′c**, nach dessen Stärke, die wie beim astronomischen Fernrohr ebenfalls der Oeffnung des Objectivs durch die Ver-

größerungszahl dividirt gleich ist, die Lichtstärke des Perspectivs geschätzt werden muß. Die Länge des Rohrs ist dem Unterschiede zwischen der Brennweite des Objectivs und der Zerstreuungsweite des Oculars gleich.

Der Hauptstrahl BV geht ungebrochen durch die Mitte des Objectivs nach dem Punkte b hin, welcher das Bild B ist, aber er wird in seiner Richtung durch das Ocular so geändert, daß er die Richtung ww' annimmt, als käme er aus dem Punkte q der Axe. Alle übrigen von B kommenden Strahlen BE, BF werden durch beide Linsen nach den Richtungen ee', ff' gebrochen, welche mit ww' parallel sind. In der Figur bemerkt man sogleich den Punkt O, wo sich zwei von A und B kommende Strahlen schneiden, so daß, wenn hier ein Auge steht, der Punkt B in der Richtung Oe, A in der Richtung Od, das Object AB also aufrecht gesehen wird. Der Sehwinkel aber ist eOd, welcher, weil dO mit qW, eO mit qw parallel ist, offenbar dem Winkel Wqw gleich ist, daher sich nach dessen Vergleichung mit dem Winkel WVw, unter welchem das Object mit bloßem Auge gesehen erscheint, die Vergrößerung des Perspectivs abmißt. Aber statt des Winkels Wqw können wir offenbar auch den Winkel aWb setzen, indem wir aus der Mitte des Oculars die Linie Wb ziehen, weil der Strahl, der von B ausgeht und durch das Objectiv so gebrochen wird, daß er durch die Mitte des Oculars geht, nun weiter keine Brechung mehr erleidet und daher gerade durch b gehen, zugleich aber auch mit qw parallel laufen muß. Wir haben also die Vergrößerung durch die Vergleichung der Winkel aWb und aVb zu messen und da ist klar, daß aWb so viel mal größer ist, als Wa kleiner als Va, nämlich als die Brennweite des Oculars in der des Objectivs enthalten

ist, vorausgesetzt, daß nur kleine Winkel in Frage stehen.

Dividirt man also die Brennweite des Objectivs mit der des Oculars, so erhält man die Vergrößerungszahl.

Weil aber durch das Instrument die Sehwinkel vergrößert werden, so scheint es auch die Objecte näher heranzuziehen.

Denkt man sich nun, ein Auge befinde sich in der Axe, so wird es den äußersten Randstrahl d w', nachdem er durch das Rohr hindurch gegangen ist, sicherlich nicht mehr fassen, wenn das Ocular eine größere Fläche hat, als die Pupille, und nun begreift man leicht, daß das Gesichtsfeld, welches man in der Axe übersieht, nicht größer seyn kann, als wenn die Oeffnung des Oculars nur der der Pupille gleich wäre, daher es, sobald nur die Länge des Fernrohrs einigermaasen groß wird, fast bis zum Verschwinden abnimmt. Dabei muß dennoch das Auge hart an das Ocular gehalten werden, damit nicht die Hauptstrahlen, welche sich immer weiter von der Axe entfernen, an der Pupille vorbeigehen. — Indeß muß man beim holländischen Fernrohre zweierlei Gesichtsfelder unterscheiden, das, was man mit einem Blick übersieht und das, was man noch übersehen kann, wenn man das Auge über der Fläche des Oculars hinbewegt. Dieses hängt eben so, wie beim astronomischen Fernrohre, von der Oeffnung des Oculars ab und ist nicht geringer. Man kann auf die letztere Weise nach und nach alle Punkte sehen, von denen noch Hauptstrahlen auf das Ocular fallen.

§. 143.

Abweichung wegen der verschiedenen Brechbarkeit und wegen der Kugelgestalt wirken bei diesem Fernrohre eben so, wie beim astronomischen und ver-

ursachen, daß das Rohr ebenfalls sehr lang werden muß, wenn die Vergrößerung stark werden soll. Da nun aber dabei zugleich das Gesichtsfeld bis zur Unbrauchbarkeit des Fernrohrs abnimmt, so bedient man sich desselben heut zu Tage, wie schon bemerkt, bloß als eines Taschenperspectivs, welches wegen seiner geringen Länge und daher auch nicht starken Vergrößerung noch hinlänglich viel zu übersehen verstattet. Die Helligkeit ist dabei eine Hauptbedingung, daher man oft dieselbe durch eine große Oeffnung des Objectivs auf Kosten der Deutlichkeit zu verstärken sucht. Insgemein nimmt man erfahrungsmäßig folgende Verhältnisse der Brennweiten beider Linsen:

Brennweite des Objectivs in Zollen	2,	5,	9,	18,	30
Brennweite des Oculars in Zollen	$\frac{1}{2}$,	1,	$1\frac{1}{2}$,	2,	3
Vergrößerung . . .	4,	5,	6,	9,	10 mal
Länge des Rohrs . .	$1\frac{1}{2}$,	4,	$7\frac{1}{2}$,	16,	27 Zoll

und hieraus ist ersichtlich, daß man nicht wohl mehr als eine 8malige Vergrößerung erhalten kann, wenn die Länge des Instruments für ein Taschenperspectiv nicht zu unbequem werden soll.

von Littrow gibt in seiner Dioptrik folgendes Exempel für ein Taschenperspectiv. Die Länge soll nur 6 Zoll betragen, die Vergrößerung $2\frac{1}{2}$fach seyn und ein Gegenstand von 5 Fuß Länge auf eine Entfernung von 200 Fuß nach und nach übersehen werden können. Die Brennweite des Objectivs ist 10 Zoll, seine Oeffnung $\frac{1}{4}$ Zoll, die Brennweite des Oculars 4 Zoll, seine Oeffnung 0·16 Zoll. Bei dieser Einrichtung ist die Farbenzerstreuung und die Abweichung wegen der Kugelgestalt sehr gering, die Helligkeit der mit bloßem Auge gleich. Sie scheint für ein Taschenperspectiv nicht unbequem.

§. 144.

Ehe man die Farbenzerstreuung eines Objectivs durch Verbindung zweier Linsen von verschiedener Glasart und verschiedenem Zerstreuungsvermögen gänzlich zu vernichten verstand, suchte man ihren Einfluß um einiges dadurch zu mäßigen, daß man die Linsen aus farbigem, z. B. grünlichem Glase machte, doch ohne daß man einen bedeutenden Vortheil erreicht hätte. Solche farbige Gläser lassen nämlich einen Theil der farbigen Strahlen im weißen Lichte nicht hindurch und dadurch kann allerdings die Undeutlichkeit wegen der Farbenzerstreuung etwas geringer werden. Brewster hat dieses in neuerer Zeit wieder vorgeschlagen, besonders bei solchen Fernröhren, mit welchen man in die Sonne sehen kann. Er räth, ein Objectiv aus Spiegelglas zu machen, das Ocular aber aus einer Materie, welche nur rothe Strahlen durchläßt, die übrigen aber alle verschluckt. Dann würde man das Bild der Sonne roth sehen und es müßte also offenbar von aller Farbenabweichung frei seyn. Das Licht wird zwar dadurch bedeutend geschwächt, indem die rothen Strahlen nur den 10ten Theil der Intensität der verbundenen Farben des Spectrums besitzen, allein da die Sonne ein so stark leuchtender Körper ist, so hat dieser Verlust nichts zu bedeuten, da ja ohnedem das Auge einen solchen Glanz nicht vertragen kann und man ihn erst durch stark gefärbte Gläser bedeutend schwächen muß. Ein solches Fernrohr ist nach Brewster's Meinung unter allen, welche zu Sonnenbeobachtungen dienen, das vorzüglichste.

Brewster schlägt sogar solche Telescope für irdische Gegenstände und Sterne vor und verlangt nur, daß die Fläche des Objectivs 10 mal vergrößert werde, so daß der Abgang an Licht durch die Absorption aller Strahlen bis auf die rothen wieder eingebracht

wird. Freilich würde dadurch auch die Abweichung wegen der Gestalt sich ungemein vergrößern, indessen sey Hoffnung da, dieselbe durch hyperbolische Oberflächen zu vernichten. Noch besser würde man sich des gelben Lichts bedienen, welches weit mehr Intensität besitzt, als das rothe.

Endlich bemerkt er, daß man auch die gewöhnlichen Fernröhre dadurch sehr verbessern könne, daß man Glasmassen anwendet, welche nur die äußersten Strahlen des prismatischen Spectrums absorbiren. Man erhält dadurch zwar nicht vollkommen achromatische Fernröhre, aber die Farbenabweichung ist doch weit geringer geworden, da eben die brechbarsten und am meisten abweichenden unschädlich gemacht sind.

§. 145.

Von den achromatischen Objectiven.

Diese bestehen aus zwei hart an einander liegenden Linsen aus verschiedenen Glasmassen; die vordere, dem Objecte zugekehrte, ist convex und besteht aus Kron- oder gewöhnlichem Spiegelglase, die hintere, concave aber aus Flintglase, welches eine größere Farbenzerstreuung hat, als das erstere. Die concave Linse hat eine größere Brennweite, als die convexe, so daß die Verbindung wie ein Sammelglas wirkt; aber das Verhältniß der Brennweiten ist so gewählt, daß die von der Kronglaslinse verursachte Farbenzerstreuung durch die Flintglaslinse wieder aufgehoben wird.

Man hatte in Folge einer falschen Behauptung Newton's, nach welcher die Farbenzerstreuungen im Verhältniß der mittlern Brechungen seyn sollten, lange geglaubt, daß farblose Bilder durch Verbindung zweier verschiedenartigen Glaslinsen unmöglich wären, bis endlich Dolland der ältere, auf Anregung Eu-

ler's, Erfinder der achromatischen Fernröhre wurde und dieselben bis zu einem sehr hohen Grade der Vollkommenheit brachte. Seitdem wurden auch in England dergleichen Telescope von vorzüglicher Güte verfertigt und die Engländer behaupteten diesen Vorzug, bis er ihnen durch Frauenhofer, der seltsame Geschicklichkeit mit tiefen theoretischen Kenntnissen in sich vereinigte, entrissen wurde.

Gleich nach der Erfindung der achromatischen Fernröhre machten sich auch die größten Mathematiker an die Berechnung der Verhältnisse, nach welchen die Krümmungshalbmesser des Doppelobjectivs gewählt werden müssen, wenn es möglichst vollkommen werden soll. Allein die Arbeiten der Künstler entsprachen den Erwartungen, die man auf jene Rechnungen gründete, bei weitem nicht, wodurch Mißtrauen gegen die Theorie und sogar Widerwille die natürliche Folge war. Der Grund des Mißlingens aber lag in dem Unterschiede der Glasmassen, besonders des Flintglases, welchen man irrigerweise für viel zu gering hielt, als daß er erhebliche Aenderungen in den Krümmungen der Linsen hervorbringen sollte. Gegenwärtig ist aber zur Genüge gezeigt, daß nur durch Hilfe der Theorie, vorausgesetzt, daß sie die Natur der Glasarten in jedem Falle besonders berücksichtigt, ein gutes achromatisches Fernrohr construirt werden kann und daher wollen wir nun die Mittel an die Hand geben, welche heut zu Tage zur Fertigung eines möglichst vollkommenen Refractors zu Gebote stehen.

§. 146.

Es sey also (Taf. **XXIV.** Fig. 2) **A** die Spiegelglaslinse, **Am'** die Axe und **ZE** ein mit ihr parallel einfallender weißer Strahl. Sobald dieser aus der Linse **A** herausgetreten ist, ist er auch in seine sieben Farben gespalten, so daß die mittlere in m,

die rothe in r, die violete in v ihren Brennpunkt hat. Die Hohllinse B bricht nun das Licht zum zweiten mal und vereinigt die mittlern Strahlen in dem Punkte m' der Axe, da ihre Brennweite die größere ist und sie also die Brechung der Linse A nicht ganz aufzuheben vermag. Denken wir uns daher von m' aus einen Strahl auf die Linse B fallend und so gebrochen und zerstreut, daß die mittlere Farbe gerade in m, die rothe in r, die violete in v ihren Zerstreuungspunkt hat, so wird durch die Verbindung der Linsen A und B offenbar Achromatismus bewirkt, denn es vereinigen sich dann auch umgekehrt die farbigen Strahlen Jv, Jm, Jr sämmtlich in m'. Die Linse B muß also so genommen werden, daß sie den aus dem Brennpunkte m' der verbundenen Gläser kommenden Strahl m'J in eben den Raum vr zerstreut, als es die Linse A im Bezug auf den Strahl ZE thut.

Da nun die Linse B eine größere Brennweite haben muß, als A, so würde sie die Zerstreuung der letztern nicht aufheben können, wenn sie aus derselben Glasart bestände, also eben das zerstreuende Vermögen hätte, als A. Sie muß also aus einer Glasart bestehen, welche ein stärkeres Zerstreuungsvermögen hat, als Kronglas, wie es z. B. beim Flintglase der Fall ist.

Wenn nun beide Linsen ein achromatisches Bild hervorbringen sollen, so müssen sich ihre Brennweiten wie die zerstreuenden Kräfte der Glasarten verhalten, woraus sie bestehen.

Es sey z. B. das Brechungsverhältniß der mittlern Strahlen beim Spiegelglase = 1·5435, das der violeten Strahlen = 1·5556, so beträgt die Zerstreuung 1·5556 — 1·5435 = 0·0121 und wenn man diesen Unterschied durch das um 1 verminderte mittlere Brechungsverhältniß dividirt, so erhält man

die zerstreuende Kraft des Kronglases $= \frac{121}{5435}$. Ferner sey beim Flintglase das mittlere Brechungsverhältniß $= 1 \cdot 6100$, das der violeten Strahlen $= 1 \cdot 6354$, so ist die Zerstreuung $0 \cdot 0254$ und die zerstreuende Kraft $= \frac{254}{6100}$; folglich verhält sich die Brennweite der Kronglaslinse zu der der Flintglaslinse wie $\frac{121}{5435}$ zu $\frac{254}{6100}$, d. i. wie 1 zu $1 \cdot 8703$.

Aus den Brennweiten beider Linsen kann man nun auch die Brennweite des Doppelobjectivs berechnen, nach §. 93. Setzen wir z. B. die Brennweite der Kronglaslinse $= 1$, so ist in dem vorigen Falle die der Flintglaslinse $= 1 \cdot 8703$ und daher die Brennweite des Doppelobjectivs $= \frac{1 \cdot 8703 \times 1}{1 \cdot 8703 - 1} = 2 \cdot 149$, also über zweimal größer, als die Brennweite der Flintglaslinse.

Von allem diesen kann die Mathematik genauere Nachweisung geben. Nennt man die Brennweite der Kronglaslinse p, die der Flintglaslinse q, das Brechungsverhältniß der mittlern Strahlen beim Kronglase n, die Aenderung desselben für die violeten Strahlen dn und bedeuten m und dm dasselbe beim Flintglase, so ist

$$q = \frac{n-1}{m-1} \cdot \frac{dm}{dn} \cdot p$$

und wenn man die Zahl $\frac{n-1}{m-1} \times \frac{dm}{dn} = l$ setzt, die Brennweite des Doppelobjectivs $=$

$$\frac{l\,p}{l-1}.$$

§. 147.

Noch ist es aber nicht genug, die Brennweiten beider Linsen eines Doppelobjectivs so zu wählen, daß dadurch die Farbenzerstreuung wegfällt, sondern es kommt dabei noch sehr viel darauf an, wie man die Krümmungshalbmesser der Glasoberflächen nimmt, um auch die Abweichung wegen der Kugelgestalt gänzlich zu vernichten, oder doch wenigstens den größten Theil ihres Einflusses zu beseitigen, was durch Verbindung eines Sammelglases mit einer Hohllinse, wie beim achromatischen Doppelobjectiv allerdings geschehen kann. Es mag z. B. der Vereinigungspunkt der mittlern Centralstrahlen für die Linse **A** (Taf. **XXIV**. Fig. 2) in m seyn, so werden, wie schon erinnert worden ist, die mittlern Randstrahlen näher an der Linse in dem Punkte v mit der Axe vereinigt. Die Linse **B** zerstreut auf ähnliche Weise die aus m' kommenden mittlern Strahlen so, daß die Randstrahlen näher an der Linse ihren Zerstreuungspunkt haben, als die Centralstrahlen und wenn es daher gelingt, die Krümmungshalbmesser von **B** so zu bestimmen, daß ein von m' ausgehender Randstrahl in v, ein Centralstrahl aber in m seinen Zerstreuungspunkt hat, so wird begreiflicherweise das Doppelobjectiv frei von der Kugelabweichung seyn müssen.

Für die Wahl der Krümmungshalbmesser eines Doppelobjectivs hat man mancherlei Vorschläge gemacht, deren Zweck lediglich da hinausgeht, den Linsen die möglichst größte Oeffnung geben zu können, ohne daß der noch bleibende Rest der Kugelabweichung, die streng genommen nie ganz vernichtet werden kann, merklich wird. In der Regel wählte man die Krümmungen der Kronglaslinse nach Belieben und bestimmte hiernach die Halbmesser der Flintglaslinse so, daß die Kugelabweichung der mittlern Strahlen

gehoben wurde. Hier werden aber die Rechnungen ziemlich verwickelt und ein nicht sehr mathematisch gebildeter Künstler darf keine Hoffnung hegen, sie ausüben zu können. Zum Glück für sie sind aber in neuester Zeit Tafeln berechnet worden, mittels welcher man ohne schwere Rechnung für jedwede Kron- und Flintglasarten die erforderliche Gestalt der Linse finden kann und deren Gebrauch wir sogleich erklären werden.

Wenn aber auch die Abweichung der mittlern Randstrahlen gehoben ist, so werden dennoch nicht die farbigen Randstrahlen mit ihnen in demselben Punkte zusammentreffen, weil sie ein anderes Brechungsverhältniß haben. Diese Art der Abweichung ist indessen so gering, daß man sie, so lange das Objectiv nicht eine allzu große Oeffnung bekommt, gar nicht zu fürchten hat. Sie ließe sich zwar, wie Gauß gezeigt hat, ebenfalls aufheben, wenn beide Linsen nach mühsam zu berechnenden Verhältnissen meniskenförmig geschliffen und ihre convexen Flächen dem Gegenstande zugekehrt werden. Es ist aber dieser Gedanke noch nicht in Ausführung gebracht worden.

§. 148.

1) Die Farbenzerstreuung der Axenstrahlen wird durch ein Doppelobjectiv nie vollkommen aufgehoben, weil das Flintglas die farbigen Strahlen nicht nach demselben Verhältnisse zerstreut, wie es das Kronglas thut, vielmehr werden nur diejenigen äußern Strahlen des prismatischen Spectrums in einem einzigen Punkte vereinigt, welche bei der Bestimmung der Brennweiten beider Linsen als Grundlage dienten, z. B. die rothen und die violeten mit den der Brechbarkeit nach in der Mitte liegenden. Für die zwischenliegenden Farbenstrahlen bleibt immer noch eine Abweichung, wodurch das sogenannte secundäre Spec-

trum gebildet wird, welches freilich in den meisten Fällen nur unbedeutend ist. Hieraus folgt mit Nothwendigkeit die practische Regel, daß man, wenn man zwischen mehrern Kron- und Flintglassorten die Wahl hat, diejenigen aussuchen muß, die so nahe wie möglich die sämmtlichen Strahlen des Spectrums nach gleichem Verhältnisse zerstreuen, oder bei welchen der Coefficient $\frac{n-1}{m-1} \frac{dm}{dn}$ für alle Strahlen nahe derselbe bleibt. Würde man eine Kron- und Flintglassorte haben, bei welcher die Zerstreuung aller Strahlen gleichförmig wäre, so würden sich aus ihr vollkommen achromatische Doppelobjective verfertigen lassen, allein solche Glasarten sind bis jetzt noch nicht dargestellt.

2) Aus dieser Ungleichförmigkeit in der Zerstreuung des Kron- und Flintglases folgt eine andere practische Regel, daß man nämlich diejenigen äußern Strahlen des Farbenbildes durch das Doppelobjectiv vereinigen muß, welche vor andern durch ihre Lebhaftigkeit sich auszeichnen, also etwa die feuerfarbenen und dunkelblauen; denn wenn dann auch für die rothen und violeten Strahlen noch einige Abweichung übrig bleibt, so wird sie doch dem deutlichen Sehen wegen des geringen Lichtreizes, den diese Strahlen verursachen, keinen merklichen Eintrag thun. Betrachtet man dann mit einem solchen Fernrohre den Mond und zieht den Ocularansatz über die Grenze des deutlichen Sehens heraus, so zeigt der Mond einen Rand von schwach purpurfarbenem Licht und wenn das Augenglas über die genannte Grenze weiter hineingeschoben wird, so sieht man einen schwachen Rand von grüngelbem Lichte. Würde man aber die beiden äußersten und schwächsten Farben, Roth und Violet, vereinigt haben, so würde der Mondrand im ersten Falle mit einem lebhaften Orange, im zweiten mit

einem starken Blau umgeben scheinen, weil diese beiden Farben unter allen am unvollkommensten zur Vereinigung gebracht worden wären, da sie doch eben ihrer größten Intensität wegen vorzüglich hätten berücksichtigt werden sollen.

Man muß also bei der Construction eines achromatischen Doppelobjectivs die Brechungsverhältnisse der feuerfarbenen und dunkelblauen Strahlen einer jeden Glasart wissen. Das arithmetische Mittel, oder die halbe Summe beider Brechungsverhältnisse gibt die mittlere Brechung und ihre halbe Differenz die Zerstreuung.

Man habe z. B. bei Flintglas für die orangenen Strahlen das Brechungsverhältniß 1·654, für die blauen 1·698, so ist das mittlere $= \frac{1{\cdot}654 + 1{\cdot}698}{2} = \frac{3{\cdot}352}{2} = 1{\cdot}676$ und die Zerstreuung $= \frac{1{\cdot}698 - 1{\cdot}654}{2} = \frac{0{\cdot}044}{2} = 0{\cdot}022$ und daher endlich auch die zerstreuende Kraft $= \frac{0{\cdot}022}{0{\cdot}676} = 0{\cdot}0325$ (§. 71).

3) Je größer die zerstreuende Kraft des Flintglases im Verhältnisse zu der des Kronglases ist, desto größer wird die Brennweite der Flintglaslinse, welche die Zerstreuung einer gegebenen Kronglaslinse aufzuheben vermag. Daher ergibt sich schon auf den ersten Blick, daß Flintglas zu achromatischen Fernröhren desto geeigneter ist, je mehr es die Farben des Spectrums zerstreut; denn unter dieser Bedingung brauchen beide Linsen nicht so kleine Brennweiten zu haben, wenn man ein Doppelobjectiv von einer gegebenen Brennweite hervorbringen will, als bei Flintglase von geringerer zerstreuender Kraft nöthig wird. Eine Folge hiervon ist, daß auch die Oeffnung der Doppellinse größer genommen werden darf, weil die

Krümmungshalbmesser größer sind. Man hat daher sich seit der Erfindung der achromatischen Fernröhre gar sehr bemüht, Flintglas von recht großem Zerstreuungsvermögen darzustellen, es sind aber bis jetzt die Versuche deshalb nicht sehr glücklich ausgefallen, weil man das Glas wegen des großen Zusatzes von Bleikalk (Mennige) nicht rein erhalten konnte. Die zerstreuende Kraft des bisher angewandten Flintglases ist ungefähr $1\frac{1}{2}$ bis 2 mal größer, als die des Kronglases.

4) Nach Frauenhofer's Beobachtung sammelt sich im Brennpunkte des Doppelobjectivs das meiste Licht, oder die Abweichung der hellsten und dichtesten Farben wird am geringsten, wenn das Zerstreuungsverhältniß etwas größer genommen wird, als es die Versuche geben. Für die gewöhnlichen Flint- und Kronglassorten beträgt die Vermehrung etwa 0·012 des gegebenen Verhältnisses, so daß man dieses noch mit 1·012 zu multipliciren hat. Wäre z. B. das beobachtete Zerstreuungsverhältniß $= 0 \cdot 65$, so hätte man dieses in $0 \cdot 65 \times 1 \cdot 012 = 0 \cdot 6578$ umzuändern.

§. 149.

Die Herschelschen Tafeln.

Herschel berechnete nach einer ihm eigenen Methode die Krümmungshalbmesser des Doppelobjectivs so, daß neben der Farbenabweichung nicht nur die Aberration wegen der Kugelgestalt für sehr weit entfernte, sondern für solche Objecte, die auch nur mäßig weit vom Objective abstehen, gehoben wird. Seine Regeln sind von den englischen Künstlern mit Beifall aufgenommen worden und auch Frauenhofer hat seine Objective, deren Vorzüglichkeit von der ganzen gebildeten Welt anerkannt wird, wie aus sorgsamen Mes-

sungen des Professor Stampfer in Wien hervorgeht, gleichfalls nach den Herschelschen Rechnungen ausgeführt. — Die Kronglaslinse ist biconvex und kehrt die flächere Seite dem Objecte zu, die Flintglaslinse ist concav-convex, mit der convexen Seite vom Gegenstand abgekehrt. — Wir theilen hier sogleich die Tafeln mit, welche Peter Barlow nach den Herschelschen Formeln zum Gebrauche der nicht sehr mathematischen Künstler berechnet hat.

A.	B.	C.	D.	E.	F.	G.
0.550	0.67185	0.740	—0.0110	1.45353	10.080	5.033
1	0.67182	0.739	—0.0100	1.45303	10.099	5.045
2	0.67179	0.737	—0.0090	1.45253	10.118	5.058
3	0.67176	0.736	—0.0080	1.45203	10.137	5.070
4	0.67173	0.734	—0.0071	1.45153	10.157	5.083
0.555	0.67170	0.733	—0.0062	1.45103	10.177	5.095
6	0.67167	0.731	—0.0052	1.45053	10.196	5.108
7	0.67164	0.730	—0.0042	1.45003	10.215	5.121
8	0.67161	0.728	—0.0032	1.44953	10.234	5.133
9	0.67158	0.727	—0.0023	1.44905	10.254	5.145
0.560	0.67155	0.725	—0.0014	1.44857	10.274	5.158
1	0.67152	0.724	—0.0004	1.44809	10.293	5.170
2	0.67149	0.722	0.0006	1.44761	10.312	5.183
3	0.67146	0.721	0.0016	1.44713	10.331	5.195
4	0.67143	0.719	0.0025	1.44665	10.351	5.208
0.565	0.67140	0.718	0.0034	1.44617	10.371	5.220
6	0.67137	0.716	0.0044	1.44569	10.390	5.233
7	0.67135	0.715	0.0054	1.44521	10.409	5.245
8	0.67133	0.713	0.0064	1.44473	10.428	5.258
9	0.67131	0.712	0.0073	1.44425	10.448	5.270

A.	B.	C.	D.	E.	F.	G.
0.570	0.67129	0.710	0.0082	1.44377	10.468	5.283
1	0.67127	0.709	0.0092	1.44329	10.487	5.295
2	0.67125	0.707	0.0102	1.44281	10.506	5.308
3	0.67123	0.706	0.0112	1.44233	10.525	5.320
4	0.67121	0.704	0 0121	1.44185	10.544	5.333
0.575	0.67119	0.703	0.0130	1.44137	10.564	5.345
6	0.67117	0.701	0.0140	1.44089	10.584	5.358
7	0.67115	0.700	0.0150	1.44041	10.603	5.370
8	0.67113	0.698	0.0160	1.43993	10.622	5.383
9	0.67111	0.697	0.0169	1.43945	10.641	5.395
0.580	0.67109	0.696	0.0178	1.43897	10.661	5.408
1	0.67107	0.695	0.0188	1.43849	10.681	5.420
2	0.67105	0.694	0.0198	1.43801	10.700	5.433
3	0.67103	0.693	0.0208	1.43753	10.719	5.445
4	0.67101	0.692	0 0217	1.43705	10.738	5.458
0.585	0.67099	0.691	0.0226	1.43657	10.758	5.470
6	0.67097	0.690	0.0236	1.43609	10.778	5.483
7	0.67095	0.689	0.0246	1.43561	10.797	5.495
8	0.67093	0.688	0 0256	1.43513	10.816	5.508
9	0.67091	0.687	0.0265	1.43465	10.835	5·520
0.590	0.67089	0.686	0.0274	1.43417	10.854	5.533
1	0.67087	0.685	0.0284	1.43369	10.874	5.545
2	0.67085	0.684	0.0294	1.43321	10.894	5.553
3	0.67083	0.683	0.0304	1.43273	10.913	5.570
4	0.67081	0.682	0.0313	1.43225	10.932	5.583
0.595	0.67080	0.681	0.0322	1.43177	10.951	5.595
6	0.67079	0.680	0.0332	1.43129	10.971	5.608
7	0.67076	0.679	0.0342	1.43081	10.990	5.620
8	0.67075	0.678	0.0352	1.43033	11.009	5.633
9	0.67073	0.677	0.0361	1.42985	11.029	5.646

A.	B.	C.	D.	E.	F.	G.
0.600	0.67071	0.676	0.0370	1.42937	11.049	5.659
1	0.67069	0.673	0.0388	1.42792	11.060	5.672
2	0.67073	0.671	0.0406	1.42647	11.071	5.685
3	0.67077	0.669	0.0424	1.42502	11.083	5.699
4	0.67086	0.667	0.0442	1.42357	11.094	5.712
0.605	0.67091	0.664	0.0460	1.42212	11.005	5.725
6	0.67096	0.662	0.0478	1.42067	11.117	5.739
7	0.67101	0.660	0.0495	1.41922	11.128	5.752
8	0.67106	0.658	0.0512	1.41777	11.139	5.765
9	0.67111	0.655	0.0529	1.41632	11.151	5.779
0.610	0.67116	0.653	0.0546	1.41487	11.162	5.792
1	0.67121	0.651	0.0564	1.41342	11.173	5.805
2	0.67126	0.649	0.0582	1.41197	11.185	5.819
3	0.67131	0.646	0.0600	1.41052	11.196	5.832
4	0.67136	0.644	0.0618	1.40907	11.207	5.845
0.615	0.67141	0.642	0.0636	1.40762	11.219	5.859
6	0.67146	0.640	0.0654	1.40617	11.230	5.872
7	0.67151	0.637	0.0671	1.40472	11.241	5.885
8	0.67156	0.635	0.0688	1.40327	11.253	5.899
9	0.67161	0.633	0.0705	1.40182	11.264	5.912
0.620	0.67166	0.631	0.0722	1.40037	11.275	5.925
1	0.67171	0.628	0.0740	1.39892	11.287	5.939
2	0.67176	0.626	0.0758	1.39747	11.298	5.952
3	0.67181	0.624	0.0776	1.39602	11.309	5.965
4	0.67186	0.622	0.0794	1.39457	11.321	5.979
0.625	0.67191	0.619	0.0812	1.39312	11.332	5.992
6	0.67196	0.617	0.0830	1.39167	11.343	6.005
7	0.67201	0.615	0.0847	1.39022	11.355	6.019
8	0.67206	0.613	0.0864	1.38877	11.366	6.032
9	0.67211	0.610	0.0881	1.38733	11.377	6.045

A.	B.	C.	D.	E.	F.	G.
0.630	0.67216	0.608	0.0898	1.38589	11.389	6.059
1	0.67221	0.606	0.0916	1.38445	11.400	6.072
2	0.67226	0.604	0.0934	1.38301	11.411	6.085
3	0.67231	0.601	0.0952	1.38157	11.423	6.099
4	0.67236	0.599	0.0970	1.38013	11.434	6.112
0.635	0.67241	0.597	0.0988	1.37869	11.445	6.125
6	0.67246	0.595	0.1006	1.37725	11.457	6.139
7	0.67251	0.592	0.1023	1.37581	11.468	6.152
8	0.67256	0.589	0.1040	1.37437	11.479	6.165
9	0.67261	0.587	0.1057	1.37393	11.491	6.179
0.640	0.67266	0.585	0.1074	1.37249	11.502	6.192
1	0.67271	0.583	0.1092	1.37105	11.513	6.205
2	0.67276	0.580	0.1110	1.36961	11.525	6.219
3	0.67281	0.578	0.1128	1.36817	11.536	6.232
4	0.67286	0.576	0.1146	1.36673	11.547	6.245
0.645	0.67291	0.574	0.1164	1.36429	11.558	6.258
6	0.67296	0.571	0.1182	1.36285	11.569	6.271
7	0.67301	0.569	0.1199	1.36141	11.580	6.284
8	0.67306	0.567	0.1216	1.35997	11.591	6.297
9	0.67311	0.565	0.1223	1.35853	11.602	6.310
0.650	0.67316	0.563	0.125	1.35709	11.614	6.323
1	0.67336	0.558	0.129	1.35457	11.614	6.347
2	0.67356	0.553	0.132	1.35205	11.614	6.371
3	0.67376	0.548	0.136	1.34953	11.614	6.395
4	0.67396	0.544	0.139	1.34701	11.614	6.419
0.655	0.67416	0.539	0.143	1.34449	11.614	6.444
6	0.67436	0.535	0.146	1.34197	11.614	6.469
7	0.67456	0.530	0.150	1.33945	11.614	6.494
8	0.67476	0.526	0.153	1.33693	11.614	6.519
9	0.67496	0.521	0.157	1.33441	11.614	6.544

A.	B.	C.	D.	E.	F.	G.
0.660	0.67516	0.517	0.160	1.33189	11.614	6.569
1	0.67536	0.512	0.164	1.32937	11.614	6.594
2	0.67556	0.508	0.168	1.32685	11.614	6.619
3	0.67576	0.503	0.171	1.32433	11.614	6.644
4	0.67595	0.499	0.174	1.32185	11.614	6.669
0.665	0.67614	0.495	0.178	1.31912	11.614	6.694
6	0.67633	0.490	0.181	1.31683	11.614	6.719
7	0.67652	0.486	0.185	1.31433	11.614	6.744
8	0.67671	0.481	0.189	1.31183	11.614	6.769
9	0.67690	0.477	0.192	1.30933	11.614	6.794
0.670	0.67709	0.472	0.196	1.30683	11.614	6.819
1	0.67728	0.468	0.199	1.30433	11.614	6.844
2	0.67747	0.463	0.203	1.30183	11.614	6.869
3	0.67766	0.459	0.206	1.29933	11.614	6.894
4	0.67785	0.454	0.209	1.29683	11.614	6.919
0.675	0.67804	0.450	0.213	1.29431	11.614	6.944
6	0.67823	0.445	0.217	1.29179	11.614	6.969
7	0.67842	0.441	0.221	1.28928	11.614	6.994
8	0.67861	0.436	0.225	1.28677	11.614	7.019
9	0.67880	0.432	0.229	1.28426	11.614	7.044
0.680	0.67899	0.427	0.233	1.28175	11.614	7.069
1	0.67918	0.423	0.237	1.27924	11.614	7.094
2	0.67937	0.418	0.241	1.27673	11.614	7.119
3	0.67956	0.414	0.245	1.27423	11.614	7.144
4	0.67975	0.409	0.249	1.27171	11.614	7.169
0.685	0.67994	0.405	0.253	1.26920	11.614	7.194
6	0.68013	0.400	0.257	1.26669	11.614	7.219
7	0.68032	0.396	0.261	1.26418	11.614	7.244
8	0.68051	0.391	0.265	1.26167	11.614	7.269
9	0.68070	0.387	0.270	1.25916	11.614	7.294

A.	B.	C.	D.	E.	F.	G.
0.690	0.68089	0.382	0.274	1.25665	11.614	7.319
1	0.68108	0.378	0.278	1.25414	11.614	7.344
2	0.68127	0.373	0.282	1.25163	11.614	7.369
3	0.68146	0.369	0.286	1.24912	11.614	7.394
4	0.68165	0.364	0.290	1.24661	11.614	7.419
0.695	0.68184	0.360	0.294	1.24410	11.614	7.444
6	0.68203	0.355	0.298	1.24159	11.614	7.469
7	0.68222	0.351	0.302	1.23908	11.614	7.494
8	0.68241	0.346	0.306	1.23657	11.614	7.519
9	0.68260	0.341	0.309	1.23406	11.614	7.544
0.700	0.68279	0.335	0.312	1.23154	11.614	7.570

Die Columne **A** enthält den Quotienten, welcher durch Division der zerstreuenden Kraft des Flintglases in die des Kronglases entsteht, oder wenn wir die Bezeichnungsweise des §. 146 wählen, den Quotienten

$$\frac{m-1}{n-1} \cdot \frac{dn}{dm},$$

den wir in der Folge immer Zerstreuungsverhältniß nennen werden.

In der Columne **B** steht der vordere Halbmesser der Kronglaslinse, wobei die Brennweite des Doppelobjectivs = 1 gesetzt ist, nach den mit **C** und **D** überschriebenen Zahlen aber wird dieser Halbmesser corrigirt, wenn die Brechung des Kron- und Flintglases anders ist, als die der Tafel zu Grunde liegende. Bei der Berechnung der Tafel nämlich ist das Brechungsverhältniß des Kronglases = 1.524 und das des Flintglases = 1.585 angenommen. Die Spalte **C** enthält die Correction wegen des Kronglases, die Spalte **D** die Correction wegen des Flintglases.

In der Columne **E** ist der hintere Halbmesser der Flintglaslinse enthalten, welcher, wie wir wissen, einer converen Fläche angehört und unter **F** findet man die Correction dieses Halbmessers wegen des Kronglases, unter **G** die Correction wegen des Flintglases.

§. 150.

Wir wollen nun den Gebrauch dieser Tafeln an einigen Beispielen erläutern. Es sey also das Brechungsverhältniß für die mittlern Strahlen im Kronglase = 1·515, im Flintglase = 1·671 und der Quotient, den man erhält, wenn man die zerstreuende Kraft des Kronglases mit der des Flintglases dividirt, d. h. das Zerstreuungsverhältniß = 0·56265, welche Zahl unter der mit **A** beschriebenen Spalte zu suchen ist. Da aber die Werthe von **A** in der Tafel nur dreiziffrig sind, so findet man auch nicht die Zahlen **B**, **C**, **D** u. s. w. genau, man muß erst eine kleine Rechnung (das Interpoliren) vornehmen, auf folgende Weise:

Nächst kleineres A	0·562	dazu B	0·67149
— größeres A	0·563	— B	0·67146
Unterschied	0·001 (I)	Unterschied	0·00003 (II)

Unterschied des nächst kleinern **A** vom gegebenen = ... 0·00065 (III)

Nun schließt man nach folgender Proportion: wie sich verhält der Unterschied **I** zum Unterschiede **II**, so verhält sich auch der Unterschied **III** zur erforderlichen Correction von **B**, nämlich so:

$$0{\cdot}001 : 0{\cdot}00003 = 0{\cdot}00065 : \text{Correction von B.}$$

$$\text{Correction von B} = \frac{0{\cdot}00003 \times 0{\cdot}00065}{0{\cdot}001} = 0.0000195$$

$$= 0{\cdot}00002.$$

Diese Correction ist zu dem Werthe von **B**, welcher zum nächst kleinern **A** (= 0·562) gehört, abzuziehen,

um das zum gegebenen A gehörige B zu erhalten, also daß B = 0·67149 — 0·00002 = 0·67147. — Daß aber die Correction von B abzuziehen sey, ergibt sich daraus, daß die Werthe von B bei wachsendem A bis A = 0·601 abnehmen. Von A = 0·601 an wachsen die Werthe von B wieder mit wachsendem A und daher muß dann die nach obiger Vorschrift berechnete Correction addirt werden.

Die Zahl C wird durch eine gleiche Interpolation bestimmt, da aber in der Stelle, wo das gegebene A liegt, die Werthe von C sich nur um eine 1 in der letzten Decimale ändern, so fällt jene Rechnung ganz weg und man braucht nur denjenigen Werth von C zu nehmen, welcher zu A = 0·563 gehört, indem dieses A dem gegebenen am nächsten kommt. Es ist daher C = 0·721.

Auf gleiche Weise wird D gesucht, nämlich:

Nächst kleineres A	0·562	dazu	D = 0·0006
— größeres A	0·563	—	D = 0·0016
Unterschied	0·001 (I)	Untersch.	= 0·0010 (II)

Unterschied des nächst kleineren A vom gegebenen 0·00065 (III), daher die Proportion:

$$\underset{\text{(I)}}{0{\cdot}001} : \underset{\text{(II)}}{0{\cdot}0010} = \underset{\text{(III)}}{0{\cdot}00065} : \text{Correction von D}$$

$$\text{Correction von D} = \frac{0{\cdot}0010 \times 0{\cdot}00065}{0{\cdot}001} = 0{\cdot}00065,$$

welche zu dem zum nächst kleineren A gehörigen Werthe von D (zu 0·0006) zu addiren ist, da die Zahlen unter D mit wachsendem A wachsen, so daß man hat

$$D = 0{\cdot}0006 + 0{\cdot}00065 = 0{\cdot}0012.$$

Nachdem nun die Werthe von B, C und D richtig bestimmt sind, sucht man den Unterschied des gegebenen Brechungsverhältnisses des Kronglases von dem der Tafeln (1·524) und multiplicirt mit dem-

selben die Zahl **C**, so hat man die Correction des ersten Halbmessers wegen des Kronglases. Diese Correction wird zu **B** addirt oder davon subtrahirt, je nachdem das gegebene Brechungsverhältniß des Kronglases größer oder kleiner ist, als 1·524. Die Rechnung steht so:

Gegebenes Brechungsverhältniß des Kronglases	1·515
Brechungsverhältniß in den Tafeln . . .	1·524
Unterschied . .	0·009
multiplicirt mit **C** =	0·721
Correction wegen des Kronglases	0·006489
	= 0·00649 (zu subtrahiren).

Gerade so findet sich die Correction wegen des Flintglases, indem man den Unterschied zwischen dem gegebenen Brechungsverhältniß dieser Glasart und dem der Tafeln (1·585) mit **D** multiplicirt.

Gegebenes Brechungsverhältniß des Flintglases	1·671
Brechungsverhältniß in den Tafeln . . .	1·585
Unterschied . .	0·086
multiplicirt mit **D** =	0·0012
Correction wegen des Flintglases . . . . . =	0·0001032
	= 0·00010 (zu addiren).

Die Correction wegen des Flintglases wird nämlich zu **B** addirt oder davon subtrahirt, je nachdem das gegebene Brechungsverhältniß 1·671 größer oder kleiner ist, als 1·585. Nur in den Fällen, wo die Zahlen unter **D** negativ sind (von **A** = 0·550 bis **A** = 0·561) tritt das Umgekehrte ein; die Correction wird nämlich von **B** subtrahirt oder dazu addirt,

je nachdem das gegebene Brechungsverhältniß größer oder kleiner ist, als 1·585.

Man hat also B = 0·67147

Correction wegen des Kronglases 0·00649 subtrahirt

0·66498

— — — Flintglases 0·00010 addirt

vorderer Halbmesser der Kronglaslinse . . . . 0·66508.

Der hintere Halbmesser der Flintglaslinse wird nun ganz auf dieselbe Weise mittels der Zahlen E, F und G gefunden, doch muß man sie erst durch Interpolation genau bestimmen.

Nächst kleineres A 0·562 dazu E = 1·44761

— größeres A 0·563 — E = 1·44713

Unterschied 0·001 (I) Unterschied 0.00048 (II).

Unterschied zwischen dem gegebenen A und dem nächst kleineren der Tafeln = 0·00065 (III), daher die Proportion:

$$\underset{(I)}{0{\cdot}001} : \underset{(II)}{0{\cdot}00048} = \underset{(III)}{0{\cdot}00065} : \text{Correction von E}$$

$$\text{Correction von E} = \frac{0{\cdot}00048 \times 0{\cdot}00065}{0{\cdot}001} = 0{\cdot}00031$$

und diese Correction muß von dem zum nächst kleineren A der Tafeln gehörigen Werthe von E subtrahirt werden, um das richtige E zu erhalten, da die Werthe von E mit wachsendem A abnehmen. Es ist also

$$E = 1{\cdot}44761 - 0{\cdot}00031 = 1{\cdot}44730.$$

Ferner:

Nächst kleineres A 0·562 dazu F = 10·312

— größeres A 0·563 — F = 10·331

Unterschied 0·001 (I) Unterschied 0·019 (II).

Unterschied zwischen dem gegebenen A und dem nächst kleineren der Tafeln = 0·00065 (III), daher

$$\begin{array}{cccc} (I) & (II) & (III) & \\ 0{\cdot}001 : 0{\cdot}019 & = & 0{\cdot}00065 : \text{Correction von F} \end{array}$$

$$\text{Correction von F} = \frac{0{\cdot}019 \times 0{\cdot}00065}{0{\cdot}001} = 0{\cdot}012,$$

welche zu dem zum nächst kleineren A gehörigen F zu addiren ist, so daß man hat:

$$F = 10{\cdot}312 + 0{\cdot}012 = 10{\cdot}324.$$

Endlich:

Nächst kleineres A	0·562	dazu	G = 5·183
— größeres A	0·563	—	G = 5·195
Unterschied	0·001 (I)	Unterschied	0·012 (II).

Unterschied des gegebenen A vom nächst kleineren der Tafeln = 0·00065 (III), daher:

$$\begin{array}{cccc} (I) & (II) & (III) & \\ 0{\cdot}001 : 0{\cdot}012 & = & 0{\cdot}00065 : \text{Correction von G} \end{array}$$

$$\text{Correction von G} = \frac{0{\cdot}00065 \times 0{\cdot}012}{0{\cdot}001} = 0{\cdot}008,$$

welche zu dem zum nächst kleineren A gehörigen Werthe von G zu addiren ist, so daß man hat:

$$G = 5{\cdot}183 + 0{\cdot}008 = 5{\cdot}191.$$

Hierauf finden sich die Correctionen wegen des Kron- und Flintglases, die man an die Zahl E anbringen muß, ganz so, wie früher, nämlich:

Unterschied zwischen den Brechungsverhältnissen des gegebenen Kronglases und dem der Tafeln	0·009
multiplicirt mit F	10·324
Correction wegen des Kronglases . .	0·092916
	= 0·09292 (zu subtrahiren).

Diese Correction wird nämlich zu E addirt oder davon subtrahirt, je nachdem das Brechungsverhältniß des gegebenen Kronglases größer oder kleiner ist, als 1·524.

Unterschied zwischen den Brechungsverhältnissen des gegebenen Flintglases und dem der Tafeln 0·086
multiplicirt mit G 5·191

Correction wegen des Flintglases . . . 0·446426
= 0·44643 (zu subtrahiren).

Diese Correction wird nämlich von E subtrahirt oder zu E addirt, je nachdem das gegebene Brechungsverhältniß des Flintglases größer oder kleiner ist, als 1·585.

Demnach E = . . . 1·44730
Correction wegen des Kronglases . . . . 0·09292 subtrahirt
1·35438
Correction wegen des Flintglases . . . . 0·44643 subtrahirt
Hinterer Halbmesser der Flintglaslinse . . . . . . 0·90795.

Obgleich diese Rechnung etwas lang ist, so ist sie doch keineswegs beschwerlich und kann leicht von Jedem ausgeführt werden, der das Rechnen mit Decimalbrüchen versteht, was man doch wohl von einem, der es unternimmt, ein astronomisches Fernrohr zu verfertigen, voraussetzen muß.

§. 151.

Nachdem nun der vordere Halbmesser der Kronglaslinse und der hintere der Flintglaslinse (der erste und vierte Halbmesser) gefunden sind, müssen noch die beiden andern, der zweite und dritte berechnet werden, was mit Hilfe der bekannten Brennweite einer jeden Linse geschehen muß. Wenn wir aber das Zer=

streuungsverhältniß $\frac{m-1}{n-1} \cdot \frac{dm}{dm}$ (im vorigen §. die Zahl 0·56255) = l setzen und dabei die Brennweite des Doppelobjectivs = 1 annehmen, so ist

die Brennweite der Kronglaslinse $= 1 - l = p$,

— — — Flintglaslinse $= \frac{1-l}{l} = q$.

Nämlich man findet die Brennweite der Kronglaslinse, wenn man das Zerstreuungsverhältniß von 1 abzieht, und dividirt man die Differenz mit demselben Zerstreuungsverhältnisse, so hat man auch gleich die Brennweite der Flintglaslinse.

In dem Beispiele des vorigen §., das wir hier weiter fortsetzen, war $l = 0{\cdot}56265$, daher

die Brennweite der Kronglaslinse $= 1 - 0{\cdot}56265 = 0{\cdot}43735 = p$,

die Brennweite der Flintglaslinse $= \frac{1-0{\cdot}56265}{0{\cdot}56265} = 0{\cdot}777304 = q$.

Hierauf erhält man den zweiten Halbmesser der Kronglaslinse nach der Formel

$$g = \frac{(n-1)\,pf}{f-(n-1)\,p},$$

wo p die Brennweite, n das Brechungsverhältniß, f und g die beiden Halbmesser dieser Linse bedeuten. Man multiplicirt nämlich die Brennweite mit dem um 1 verminderten Brechungsverhältnisse; dieses Product zieht man einmal von dem bekannten Halbmesser ab, das andere Mal multiplicirt man es mit ihm und dividirt mit der erst erhaltenen Zahl in die zweite. —

Die Rechnung wird am leichtesten durch Logarithmen auf folgende Weise geführt:

$$\log p = 0{\cdot}6408291 - 1$$
$$\text{addirt } \log(n-1) = 0{\cdot}7118072 - 1$$
$$0{\cdot}3526363 - 1 = \log Q$$
$$\text{addirt } \log f = 0{\cdot}8228739 - 1$$
$$0{\cdot}1755102 - 1$$
$$\log[f-(n-1)p] = 0{\cdot}6432995 - 1 \text{ subtrahirt}$$
$$\log g = 0{\cdot}5322107 - 1$$

$$\text{Zahl zu } \log Q = 0{\cdot}2252352 \text{ subtrahirt von}$$
$$f = 0{\cdot}66508$$
$$0{\cdot}4398448 = f-(n-1)p$$

$g = 0{\cdot}34057$ hinterer Halbmesser der Kronglaslinse.

Gerade so verfährt man auch, wenn man den vordern Halbmesser der Flintglaslinse aus dem hintern berechnen will, nur muß man die Zahlen, die man in der vorigen Rechnung von einander abzog, jetzt addiren. Bedeute m das Brechungsverhältniß der Flintglaslinse, q ihre Brennweite, f' ihren vordern, g' ihren hintern Halbmesser, so ist

$$f' = \frac{(m-1)qg'}{g'+(m-1)q}.$$

$$\log q = 0{\cdot}8905909 - 1$$
$$\text{addirt } \log(m-1) = 0{\cdot}8267225 - 1$$
$$0{\cdot}7173134 - 1 = \log P$$
$$\text{addirt } \log g' = 0{\cdot}9580619 - 1$$
$$0{\cdot}6753753 - 1$$
$$\log[g'+(m-1)q] = 0{\cdot}1551906 - 1 \text{ subtrahirt}$$
$$\log f' = 0{\cdot}5201847 - 1$$

$$\text{Zahl zu } \log P = 0{\cdot}521571$$
$$g' = 0{\cdot}90795 \text{ addirt}$$
$$1{\cdot}429521$$

$f' = 0{\cdot}33127$ vorderer Halbmesser der Flintglaslinse.

Wir haben demnach folgende Einrichtung des Doppelobjectivs bei den oben vorausgesetzten Glasarten:

Brennweite des Doppelobjectivs	=	1	
— der Kronglaslinse	=	0·43735	
Halbmesser der Vorderfläche .	=	0·66508	convex
— — Hinterfläche .	=	0·34057	—
Zerstreuungsweite d. Flintglaslinse	=	0·77730	
Halbmesser der Vorderfläche .	=	0·33127	concav
— — Hinterfläche .	=	0·90795	convex.

Soll nun z. B. die Brennweite des Doppelobjectivs = 5 Fuß = 60 Zoll seyn, so muß man alle Maase mit 60 multipliciren, um sie in Zollen zu erhalten. Man hat demnach:

Brennweite des Doppelobjectivs	=	60·000	Zoll	
— der Kronglaslinse	=	26·241	—	
Halbmesser der Vorderfläche	=	39·905	—	convex
— — Hinterfläche	=	20·434	—	convex
Zerstreuungsweite der Flintglaslinse	=	46·638	—	
Halbmesser der Vorderfläche	=	19·876	—	hohl
— — Hinterfläche	=	54·477	—	convex.

§. 152.

Die Oeffnung, die man einem Doppelobjective geben kann, richtet sich darnach, ein wie kleiner Theil der Kugelabweichung noch ertragen werden kann. Durch die Rechnungen nämlich, die wir in den vorigen §§. gelehrt haben, wird nur der beträchtlichste und einflußreichste Theil der sphärischen Aberration, welche dem Quadrate der Oeffnung proportional ist, weggebracht, aber daneben bleibt noch ein anderer Theil übrig, welcher von der vierten Potenz der Oeffnung abhängt und der zwar nur unbeträchtlich ist, aber auch nicht weggeschafft werden kann.

Man muß daher seinen Einfluß, wenn er zu stark werden sollte, durch Verminderung der Oeffnung beschränken.

Man kann keine bestimmten Regeln für die Größe der Oeffnung geben, weil hierbei gar Vieles auch von der Vergrößerung, der Lichtstärke der Objecte, das meiste aber von der veränderlichen Beschaffenheit des Kron- und Flintglases abhängt. Im Allgemeinen dürfen keine zu großen Brechungen vorkommen, d. h. die Winkel, welche der Randstrahl an den vier Flächen mit den Lothen (Halbmessern) macht, dürfen nicht zu groß werden und höchstens 15 Grad erreichen. Bei der Herschelschen Construction ist meistens der Winkel **KLF** (Taf. XXIV. Fig. 2) der größte, welchen der aus der Hinterfläche der Kronglaslinse heraustretende Strahl mit dem Lothe **KL** bildet, daher die Oeffnung nicht größer seyn darf, als daß dieser Winkel 15° beträgt, ein Bogen, der in Theilen des Halbmessers ausgedrückt, ungefähr $\frac{1}{4}$ ausmacht. Ist daher die halbe Oeffnung $= x$ und haben die Buchstaben g und p die Bedeutung des vorigen §., so ist der Winkel **KLF** in Theilen des Halbmessers nahe $= \frac{x}{p} + \frac{x}{g}$, und es wird folglich x aus der Gleichung gefunden:

$$\frac{x}{p} + \frac{x}{g} = \frac{1}{4},$$

nämlich $x = \frac{pg}{4(p+g)}$

und daher die ganze Oeffnung $2x = \frac{pg}{2(p+g)}$.

Bei den Frauenhoferschen Objectiven von 5 Fuß Länge ist $\frac{x}{p} + \frac{x}{g}$ nahe $= \frac{1}{5}$, daher die ganze Oeffnung $= \frac{2pg}{5(p+g)}$.

Nehmen wir also das Objectiv von 5 Fuß Brennweite des vorigen §., so berechnet sich seine Oeffnung mit Logarithmen auf folgende Weise:

$$\begin{aligned} \log p &= 1.41898 \\ \text{addirt } \log g &= 1.31037 \\ &\overline{2.72935} \\ \text{subtrahirt } \log (p+g) &= 1.66909 \\ &\overline{1.06026} \\ \text{Zahl} &= 11.489 \end{aligned}$$

Daher die Oeffnung $= \frac{1}{2} \times 11.489 = 5.744$ Zoll, oder nach Frauenhofer nur $\frac{2}{5} \times 11.489 = 4.596$. — Frauenhofers Fernröhre haben bei einer Länge von 5 Fuß nur 4 Zoll Oeffnung, weil bei ihnen der Unterschied in den Zerstreuungen der Glasarten nicht so groß ist, als in unserm Beispiele angenommen, und hieraus kann man abnehmen, wie sehr die Vervollkommnung der achromatischen Fernröhre von der Beschaffenheit des Kron- und Flintglases abhängt.

Wir wollen hier noch die halben Oeffnungen hersetzen, welche Frauenhofer seinen Objectiven zu geben pflegte.

1) Astronomische Fernröhre.

Größte von der Brennweite des Objectives 160 bis 100 Z.
Oeffnung 0.054.
Mittlere von der Brennweite des Objectives 80 bis 48 Z.
Oeffnung 0.066.
Kleinste von der Brennweite des Objectives 40 bis 20 Z.
Oeffnung 0.082.

2) Seefernröhre.

Brennweite	des	Objectives	30	Z.	Oeffnung	0.070
=	=	=	20	=	=	0.080
=	=	=	16	=	=	0.082

3) Zugfernröhre.

Brennweite	des	Objectives	20	Z.	Oeffnung	0.078
"	"	"	16	"	"	0.080
"	"	"	12	"	"	0.090

4) Kometensucher.

Brennweite des Objectives 24 Z. Oeffnung 0.118.

Die Oeffnungen sind in Theilen der Brennweite des Objectives angesetzt, wenn diese = 1 genommen wird. Bei einem Objective von 100 Zoll Brennweite ist also die Oeffnung 0.054 × 100 = 5.4 Zoll. Man sieht aus dieser Tabelle, daß die Oeffnung nicht im Verhältnisse der Brennweite des Objectives wachsen darf, daß also z. B. ein 10füßiges Fernrohr nicht 8 Zoll Oeffnung haben kann, wenn ein 5füßiges 4 Zoll hat, denn sonst würde die Kugelabweichung zu beträchtlichen Einfluß äußern. Fernröhre, deren Zweck große Lichtstärke ist, ohne starke Vergrößerung, haben im Verhältnisse zu ihrer Länge eine sehr große Oeffnung, wie z. B. die Kometensucher, denen Frauenhofer bei 24 Zoll Brennweite des Objectives 3 Zoll Oeffnung gab.

§. 153.

In den Herschelschen Tafeln zur Berechnung der Doppelobjective ist die Dicke der Linsen nicht berücksichtigt worden, so, als ob sie gar keine Dicke hätten. Daher muß man die Linsen nicht übermäßig stark machen, damit ihre Dicke nicht etwa einen merklichen Einfluß auf die Brechung der Strahlen ausübe, jedoch dürfen sie auch nicht zu schwach werden, damit sich das Glas bei der Bearbeitung nicht biege und für die metallene Fassung ein noch hinlänglich starker Rand bleibe.

Durchschneiden sich beide Flächen der Linse, so ist ihre Dicke in der Mitte genommen,

$$\frac{x^2}{2(n-1)p},$$

wo x die halbe Oeffnung, n das Brechungsverhältniß und p die Brennweite bedeutet. Wenn n bei gemeinem Glase $= \frac{3}{2}$, so ist die Linsendicke gerade $=$

$$\frac{x^2}{p}.$$

Nehmen wir nun die Linse gleichseitig und ihre Oeffnung so groß, daß der vom Mittelpunkte der Vorderfläche nach dem Rande gezogne Strahl mit der Axe einen Winkel von 10 Graden macht, so ist $x = 0.1736$ des Krümmungshalbmessers oder der Brennweite, nämlich $x = 0.1736\ p$, und daher die Dicke der Linse $= (0.1736)^2 = 0.03$ der Brennweite, wofür die Künstler gewöhnlich das Doppelte, 0.06 der Brennweite nehmen.

Bei den Zerstreuungsgläsern können sich die beiden Flächen niemals schneiden, aber man findet unter der Voraussetzung, daß sich beide Flächen in der Mitte berühren, die Dicke am Rande der Linse nach eben der vorhin aufgestellten Formel, wenn p die Zerstreuungsweite bedeutet. Die Formel $\frac{x^2}{2(n-1)p}$ gibt also für Zerstreuungsgläser die kleinste Dicke am Rande an, und man muß nun noch dieselbe so weit vergrößern, daß das Glas auch in der Mitte noch stark genug bleibt, um bei der Bearbeitung dem Biegen zu widerstehen. Man nimmt die Dicke höchstens dreimal so groß, als sie die Formel $\frac{x^2}{2(n-1)p}$ gibt.

Wenn man einen Bogen zeichnet, welcher der Krümmung einer Linsenfläche entspricht und ihn der Oeffnung der Linse gleich macht, so zeigt der Abstand

der Mitte dieses Bogens von seiner Sehne, eine wie starke Glasmasse die so gekrümmte Fläche erfordert. Hieraus läßt sich abnehmen, wie man die Dicke einer Linse auch ohne Rechnung finden kann.

§. 154.

Wir wollen nun noch den Gebrauch der Herschelschen Tafeln an einem zweiten Beispiele nachweisen. Es sey also gegeben:

Brechungsverhältniß des Kronglases $= 1.530 = n$
— — Flintglases $= 1.634 = m$
Zerstreuungsverhältniß . . . . . $= 0.695 = l$
man soll ein Objectiv von 3 Fuß = 36 Zoll Brennweite berechnen.

Da das Zerstreuungsverhältniß 0.695 genau in den Tafeln steht, so braucht nicht interpolirt zu werden, sondern die Tafeln geben sogleich $B = 0.68184$, $C = 0.360$, $D = 0.294$. Man hat aber die Correction von B wegen des Kronglases $= (1.530 - 1.524) \times 0.360 = 0.006 \times 0.360 = 0.00216$ (zu addiren), die wegen des Flintglases $= (1.634 - 1.585) \times 0.294 = 0.049 \times 0.294 = 0.01441$ (zu addiren), daher den ersten Halbmesser der Kronglaslinse $= 0.68184 + 0.00216 + 0.01441 = 0.69841 = f$.

Ferner geben die Tafeln $E = 1.24410$, $F = 11.614$, $G = 7.444$ und daher auch die Correction von E wegen des Kronglases $= (1.530 - 1.524) \times 11.614 = 0.006 \times 11.614 = 0.06968$ (zu addiren), die wegen des Flintglases $= (1.634 - 1.585) \times 7.444 = 0.049 \times 7.444 = 0.36476$ (zu subtrahiren), daher der hintere Halbmesser der Flintglaslinse $= 1.24410 + 0.06968 - 0.36476 = 0.94902 = g'$.

Nun berechnet man nach §. 151 die Brennweiten beider Linsen, nämlich:

Brennweite der Kronglaslinse . . . $= 1 - 0.695 = 0.305 = p$

Brennweite der Flintglaslinse . . . $= \frac{1-0.695}{0.695} = 0.438849 = q$

und hieraus die übrigen Halbmesser durch Logarithmen nach den Formeln des §. 151 auf folgende Weise:

$$\begin{array}{rl} \log p = & 0.4842998-1 \\ \text{addirt } \log (n-1) = & 0.7242759-1 \\ \hline & 0.2085757-1 = \log Q \\ \text{addirt } \log f = & 0.8441104-1 \\ \hline & 0.0526861-1 \\ \log [f-(n-1)\,p] = & 0.7297801-1 \text{ subtrahirt} \\ \hline \log g = & 0.3229060-1 \end{array}$$

$$\begin{array}{rl} \text{Zahl zu } \log Q = & 0.1616500 \text{ subtrahirt von} \\ f = & 0.69841 \\ \hline \text{Unterschied } & 0.53676 = f-(n-1)\,p \end{array}$$

$g = 0.21033$ Halbmesser der Hinterfläche der Kronglaslinse.

$$\begin{array}{rl} \log q = & 0.6423150-1 \\ \text{addirt } \log (m-1) = & 0.8020893-1 \\ \hline & 0.4444043-1 = \log P \\ \text{addirt } \log g' = & 0.9772754-1 \\ \hline & 0.4216797-1 \\ \log [g'+(m-1)\,q] = & 0.0889331 \quad \text{subtrahirt} \\ \hline \log f' = & 0.3327466-1 \end{array}$$

$$\begin{array}{rl} \text{Zahl zu } \log P = & 0.2782302 \\ g' = & 0.94902 \quad \text{addirt} \\ \hline \text{Summe} = & 1.2272502 = g'+(m-1)\,q \end{array}$$

$f' = 0.21515$ vorderer Halbmesser der Flintglaslinse.

Man hat demnach folgende Einrichtung des Doppelobjectivs:

Brennweite des Doppelobjectivs . .	= 1.00000	36.000 Zoll
Erster Halbmesser	0.69841	25.143 — conver
Zweiter —	0.21033	7.572 — —
Dritter —	0.21515	7.745 — hohl
Vierter —	0.94902	34.165 — conver.

Die Zahlen der zweiten Reihe entstehen durch Multiplication der Zahlen in der ersten mit 36. — Wenn der größte Brechungswinkel nicht über 15^0 gehen soll, so findet man die Oeffnung, die dieses Objectiv bei 36 Zoll Brennweite zuläßt, mittels der Brennweite der Kronglaslinse ($= 0.305 \times 36 = 10.98$ Zoll) und deren hinteren Halbmesser nach §. 152 $= \frac{1}{2} \cdot \frac{10.98 \times 7.57}{10.98 + 7.57} = 2\frac{1}{4}$ Zoll nächstens. — Uebrigens sind bei der Herschelschen Construction, wie man aus den beiden Beispielen gesehen, der zweite und dritte Halbmesser sehr nahe gleich und zwar bei mittleren Zerstreuungsverhältnissen der dritte größer, als der zweite, was für die Ausarbeitung des Objectivs für vortheilhaft gehalten wird.

Wir wollen zuletzt noch ein Frauenhofersches Fernrohr mit dieser Rechnung vergleichen. Nach Stampfer's genauer Messung war bei einem solchen Instrumente von 37 Pariser Linien Oeffnung:

Krümmungshalbmesser der ersten Fläche . . .	33.42	Wiener	Zoll	conver
Krümmungshalbmesser der zweiten Fläche . .	13.29	—	—	—
Krümmungshalbmesser der dritten Fläche . . .	13,55	—	—	concav
Krümmungshalbmesser der vierten Fläche . . .	60.61	—	—	conver

Prechtl nimmt nun das Brechungsverhältniß des Kronglases = 1.528, das des Flintglases = 1.616 und findet die Brennweite der Kronglaslinse = 18.03 Zoll, die der Flintglaslinse = 28.33 Zoll und die des Doppelobjectivs = 49.30 Zoll, woraus sich auch das Zerstreuungsverhältniß = 0.6354 ergibt, indem man die Brennweite der ersten Linse mit der der zweiten dividirt. Werden aber die vier Krümmungshalbmesser nach den Herschelschen Tafeln berechnet, so finden sie sich der Reihe nach 33.42, 13.25, 13.54, 60.82 Zoll, welche Zahlen den vorigen sehr nahe kommen.

Bei einem andern achromatischen Objective von 48 Pariser Linien Oeffnung war nach Stampfer

der Krümmungshalbmesser	der	ersten	Fläche	41.800	Zoll
—	—	— zweiten	—	16.638	—
—	—	— dritten	—	16.972	—
—	—	— vierten	—	75.653	—

Prechtl findet aber mittels eben der Brechungs- und Zerstreuungsverhältnisse, die im vorigen Beispiel angegeben worden, diese Zahlen der Reihe nach 41.808, 16.608, 16.982, 76.146, welche ebenfalls mit Stampfer's Messung sehr nahe übereinstimmen, so daß es nur einer geringen Aenderung in den Brechungs- und Zerstreuungsverhältnissen bedürfte, um die Uebereinstimmung vollkommen zu machen.

Bei kleineren Doppelobjectiven, z. B. von 1 Fuß Länge, pflegte Frauenhofer die Hinterfläche der Kronglaslinse plan zu machen und dies thut man besonders auch bei den Objectiven des holländischen Fernrohrs. Man berechnet hierfür die Krümmungen des Doppelobjectivs eben so, wie oben gelehrt und verwandelt nur die Flintglaslinse in eine planconcave, indem man aus ihrer Brennweite den Krümmungshalbmesser dadurch berechnet, daß man die Brenn-

weite mit dem um 1 verminderten Brechungsverhältnisse multiplicirt.

§. 155.

Die Littrowschen Tafeln.

Littrow nimmt die Kronglaslinse des Doppelobjectivs gleichseitig und bestimmt nachher die Flintglaslinse so, daß dadurch die Abweichung wegen der Kugelgestalt sowohl, als auch die Farbenzerstreuung gehoben wird. Seine Rechnungsmethode gibt ihrer Natur nach noch vollkommnere Gläser, als die Herschelsche, denn er berücksichtigt auch noch die Dicke der Kronglaslinse, die er = $\frac{1}{100}$ ihrer Brennweite annimmt, hauptsächlich aber ist die Vernichtung der Farben- und Kugelabweichung weit vollkommner, obschon sie nicht gänzlich gehoben ist. Zwar verschwindet die Kugelabweichung nicht, wie bei der Herschelschen Rechnung, für nahe und ferne, sondern nur für sehr weit entlegene Gegenstände, indessen wird dieser Mangel nicht von Bedeutung seyn können, da man doch durch Fernröhre nur weit entfernte Objecte betrachtet. Dagegen aber gestattet die Gleichseitigkeit der Kronglaslinse eine größere Oeffnung und gewährt daneben noch leichtere Ausführung des Objectivs. von Littrow hat die Resultate seiner Rechnung in eine sehr vollständige und sehr bequeme Tabelle gebracht, die wir hier mittheilen:

Erste Tafel.

A.	B.	C.	D.
0.500	1.00273	1.331	0.623
01	1.00286	1.334	0.622
02	1.00300	1.337	0.621
03	1.00313	1.340	0.620
04	1.00327	1.344	0.620
0.505	1.00340	1.346	0.619
06	1.00354	1.349	0.618
07	1.00367	1.352	0.617
08	1.00381	1.355	0.616
09	1.00394	1.357	0.616
0.510	1.00408	1.360	0.615
11	1.00421	1.362	0.614
12	1.00434	1.365	0.613
13	1.00447	1.367	0.612
14	1.00461	1.369	0.612
0.515	1.00474	1.371	0.611
16	1.00487	1.374	0.610
17	1.00499	1.375	0.610
18	1.00512	1.377	0.609
19	1.00525	1.379	0.608
0.520	1.00538	1.381	0.608
21	1.00550	1.382	0.607
22	1.00563	1.384	0.606
23	1.00575	1.385	0.605
24	1.00588	1.387	0.604

A.	B.	C.	D.
0.525	1.00600	1.389	0.603
26	1.00612	1.391	0.603
27	1.00624	1.392	0.602
28	1.00636	1.393	0.602
29	1.00647	1.394	0.601
0.530	1.00659	1.396	0.601
31	1.00670	1.397	0.600
32	1.00682	1.399	0.599
33	1.00693	1.400	0.599
34	1.00705	1.401	0.598
0.535	1.00716	1.402	0.597
36	1.00727	1.403	0.596
37	1.00737	1.404	0.596
38	1.00748	1.406	0.595
39	1.00758	1.407	0.594
0.540	1.00768	1.408	0.594
41	1.00778	1.409	0.593
42	1.00788	1.410	0.592
43	1.00798	1.411	0.591
44	1.00808	1.413	0.591
0.545	1.00817	1.414	0.590
46	1.00826	1.415	0.589
47	1.00837	1.416	0.589
48	1.00844	1.417	0.588
49	1.00852	1.418	0.587
0.550	1.00861	1.419	0.587
51	1.00870	1.420	0.585
52	1.00878	1.421	0.584
53	1.00886	1.421	0.583
54	1.00894	1.422	0.582

A.	B.	C.	D.
0.555	1.00901	1.423	0.581
56	1.00909	1.424	0.581
57	1.00916	1.425	0.580
58	1.00923	1.426	0.580
59	1.00930	1.427	0.579
0.560	1.00937	1.428	0.579
61	1.00943	1.429	0.578
62	1.00950	1.430	0.577
63	1.00956	1.431	0.576
64	1.00962	1.432	0.576
0.565	1.00967	1.432	0.575
66	1.00973	1.433	0.574
67	1.00978	1.434	0.573
68	1.00984	1.435	0.572
69	1.00989	1.436	0.572
0.570	1.00994	1.437	0.572
71	1.00998	1.438	0.571
72	1.01003	1.439	0.570
73	1.01007	1.440	0.569
74	1.01011	1.441	0.569
0.575	1.01014	1.441	0.568
76	1.01018	1.443	0.567
77	1.01021	1.444	0.567
78	1.01025	1.445	0.566
79	1.01028	1.446	0.566
0.580	1.01031	1.448	0.566
81	1.01033	1.449	0.565
82	1.01036	1.450	0.564
83	1.01038	1.451	0.563
84	1.01041	1.452	0.563

A.	B.	C.	D.
0.585	1.01042	1.453	0.562
86	1.01044	1.454	0.561
87	1.01045	1.455	0.561
88	1.01047	1.456	0.561
89	1.01048	1.457	0.560
0.590	1.01050	1.459	0.560
91	1.01050	1.460	0.560
92	1.01051	1.462	0.559
93	1.01051	1.463	0.559
94	1.01052	1.464	0.558
0.595	1.01052	1.465	0.557
96	1.01053	1.466	0.557
97	1.01053	1.467	0.556
98	1.01052	1.469	0.556
99	1.01052	1.470	0.555
600	1.01051	1.472	0.555
01	1.01050	1.473	0.555
02	1.01050	1.474	0.554
03	1.01049	1.475	0.554
04	1.01047	1.477	0.554
0.605	1.01046	1.478	0.553
06	1.01045	1.480	0.553
07	1.01044	1.482	0.553
08	1.01042	1.483	0.552
09	1.01040	1.484	0.552
0.610	10.1038	1.486	0.552
11	10.1036	1.487	0.551
12	10.1034	1.489	0.551
13	10.1031	1.490	0.550
14	10.1029	1.492	0.550

A.	B.	C.	D.
0.615	1.01026	1.493	0.550
16	1.01024	1.495	0.550
17	1.01021	1.496	0.549
18	1.01018	1.498	0.549
19	1.01015	1.499	0.549
0.620	1.01013	1.501	0.549
21	1.01010	1.502	0.549
22	1.01007	1.503	0.549
23	1.01003	1.504	0.549
24	1.01000	1.506	0.548
0.625	1.00997	1.508	0.548
26	1.00994	1.509	0.548
27	1.00990	1.510	0.548
28	1.00987	1.512	0.547
29	1.00983	1.514	0.547
0.630	1.00980	1.515	0.547
31	1.00977	1.516	0.547
32	1.00974	1.517	0.547
33	1.00970	1.518	0.546
34	1.00966	1.520	0.546
0.635	1.00962	1.521	0.546
36	1.00959	1.523	0.546
37	1.00955	1.524	0.545
38	1.00952	1.525	0.545
39	1.00948	1.527	0.545
0.640	1.00945	1.528	0.545
41	1.00941	1.529	0.545
42	1.00938	1.530	0.545
43	1.00934	1.531	0.545
44	1.00931	1.532	0.545

A.	B.	C.	D.
0.645	1.00928	1.533	0.544
46	1.00925	1.534	0.544
47	1.00922	1.535	0.544
48	1.00919	1.536	0.543
49	1.00916	1.537	0.543
0.650	1.00912	1.538	0.543
51	1.00909	1.539	0.543
52	1.00906	1.540	0.543
53	1.00904	1.540	0.543
54	1.00902	1.541	0.543
0.655	1.00900	1.541	0.542
56	1.00897	1.542	0.542
57	1.00895	1.542	0.542
58	1.00893	1.543	0.541
59	1.00892	1.544	0.541
0.660	1.00890	1.544	0.541
61	1.00888	1.544	0.541
62	1.00887	1.544	0.541
63	1.00886	1.545	0.541
64	1.00885	1.545	0.541
0.665	1.00885	1.545	0.541
66	1.00884	1.544	0.540
67	1.00884	1.544	0.540
68	1.00884	1.544	0.540
69	1.00885	1.544	0.540
0.670	1.00885	1.544	0.540
71	1.00886	1.543	0.540
72	1.00887	1.542	0.540
73	1.0C888	1.542	0.541
74	1.00890	1.541	0.541

A.	B.	C.	D.
0.675	1.00892	1.540	0.541
76	1.00894	1.539	0.541
77	1.00896	1.538	0.541
78	1.00899	1.537	0.541
79	1.00902	1.536	0.541
0.680	1.00906	1.534	0.541
81	1.00910	1.532	0.541
82	1.00914	1.531	0.541
83	1.00919	1.529	0.542
84	1.00924	1.527	0.542
0.685	1.00929	1.525	0.542
86	1.00935	1.523	0.542
87	1.00941	1.521	0.543
88	1.00947	1.519	0.543
89	1.00954	1.516	0.543
0.690	1.00962	1.513	0.543
91	1.00970	1.510	0.543
92	1.00978	1.507	0.543
93	1.00987	1.503	0.544
94	1.00997	1.500	0.544
0.695	1.01007	1.497	0.544
96	1.01017	1.494	0.544
97	1.01028	1.490	0.545
98	1.01039	1.487	0.545
99	1.01051	1.484	0.545
0.700	1.01063	1.480	0.545

Zweite Tafel.

E. Brechungsverhältniß d. Krongl.	F.	M.	N.	G. Oeffnung.
1.500	1.000	2.005555	1.00167	0.3480
1.501	1.002	2.001548	1.00166	0.3488
1.502	1.004	1.997555	1.00164	0.3496
1.503	1.006	1.993578	1.00163	0.3504
1.504	1.008	1.989618	1.00162	0.3510
1.505	1.010	1.985673	1.00161	0.3518
1.506	1.012	1.981744	1.00160	0.3524
1.507	1.014	1.977830	1.00169	0.3532
1.508	1.016	1.973932	1.00168	0.3538
1.509	1.018	1.970048	1.00167	0.3546
1.510	1.020	1.966180	1.00166	0.3552
1.511	1.022	1.962328	1.00165	0.3560
1.512	1.024	1.958490	1.00163	0.3566
1.513	1.026	1.954667	1.00162	0.3574
1.514	1.028	1.950860	1.00161	0.3580
1.515	1.030	1.947067	1.00160	0.3586
1.516	1.032	1.943288	1.00169	0.3588
1.517	1.034	1.939525	1.00168	0.3600
1.518	1.036	1.935776	1.00167	0.3608
1.519	1.038	1.932041	1.00166	0.3614
1.520	1.040	1.928321	1.00165	0.3622
1.521	1.042	1.924615	1.00164	0.3630
1.522	1.044	1.920923	1.00163	0.3636
1.523	1.046	1.917245	1.00161	0.3644
1.524	1.048	1.913582	1.00160	0.3650

E. Brechungsverhältniß d. Krongl.	F.	M.	N.	G. Oeffnung.
1.525	1.050	1.909932	1.00169	0.3656
1.526	1.052	1.906296	1.00168	0.3664
1.527	1.054	1.902674	1.00167	0.3670
1.528	1.056	1.899066	1.00166	0.3678
1.529	1.058	1.895471	1.00165	0.3684
1.530	1.060	1.891891	1.00164	0.3692
1.531	1.062	1.888323	1.00163	0.3698
1.532	1.064	1.884770	1.00162	0.3706
1.533	1.066	1.881229	1.00161	0.3714
1.534	1.068	1.877700	1.00160	0.3720
1.535	1.070	1.874186	1.00168	0.3728
1.536	1.072	1.870685	1.00167	0.3734
1.537	1.074	1.866197	1.00166	0.3742
1.538	1.076	1.863722	1.00165	0.3748
1.539	1.078	1.860260	1.00164	0.3756
1.540	1.080	1.856810	1.00163	0.3762

§. 156.

Die erste Tafel enthält unter der Rubrik A den Quotienten, welchen man erhält, wenn man mit der Zerstreuung des Flintglases dm in die des Kronglases dn dividirt und diese Zahl darf nicht mit dem verwechselt werden, was wir bei der Herschelschen Rechnung Zerstreuungsverhältniß nannten; dieses ist nämlich $\frac{m-1}{n-1} \cdot \frac{dn}{dm}$, jenes aber blos $\frac{dn}{dm}$. Ist z. B. bei Kronglas für die mittlern Strahlen das Brechungsverhältniß 1.512, für die blauen aber 1.523, so ist die Zerstreuung 1.523 — 1.512 = 0.011. Ist ferner beim Flintglas das mittlere Brechungsverhältniß 1.614, das der blauen Strahlen aber 1.6358,

so ist gleichfalls die Zerstreuung = 1.6358 — 1.614 = 0.0218 und der Quotient $\frac{0.011}{0.0218}$ = 0.5045 beider Zerstreuungen ist die Zahl, die in der Tabelle mit A bezeichnet ist. Wir wollen uns in der Folge auch hierfür des Ausdrucks „Zerstreuungsverhältniß" bedienen.

In der Rubrik B ist der vordere Halbmesser der Flintglaslinse enthalten, welcher immer einer hohlen Fläche angehört, und mittels der Zahlen unter C wird derselbe wegen des Kronglases mittels der Zahlen unter D aber wegen des Flintglases corrigirt. Diese Tafeln sind aber für solche Kron- und Flintglasarten berechnet, bei welchen die mittlern Brechungen 1.50 und 1.60 sind.

In der zweiten Tafel stehen unter E die Brechungsverhältnisse des Kronglases und daneben unter F die Halbmesser der gleichseitigen Kronglaslinse, welche man auch ohne Tafel leicht dadurch findet, daß man vom Brechungsverhältniß 1 abzieht und den Rest doppelt nimmt. Die Zahlen M und N dienen zur Berechnung des hintern Halbmessers der Flintglaslinse und der Brennweite des Doppelobjectivs; endlich steht unter E die Oeffnung des Objectivs bei den verschiedenen Brechungsverhältnissen des Kronglases. Die Brennweite der Kronglaslinse ist als Einheit angenommen und im Verhältniß zu ihr sind alle übrigen Längen ausgedrückt.

§. 157.

Wir wollen nun den Gebrauch der Littrowschen Tafeln an einigen Beispielen erläutern. Es sey daher

1) Brechungsverhältniß des Kronglases . . . . = 1.512

Brechungsverhältniß des
Flintglases . . . . . = 1.623

Das Zerstreuungsverhältniß = 0.673 in der im vorigen §. angegebenen Bedeutung. Welche Krümmungen müssen nun die Flächen beider Linsen bekommen.

Aus Tafel II. ergibt sich sogleich für **E** = 1.512 der Krümmungshalbmesser der Kronglaslinse **F** = 1.024, und die Oeffnung des Objectivs **G** = 0.3566.

Ferner findet man für das Zerstreuungsverhältniß **A** = 0.673 die Zahl **B** = 1.00888, welche wegen des Kron- und Flintglases noch corrigirt werden muß. Man sucht nämlich den Unterschied zwischen dem Brechungsverhältniß des Kronglases und der Zahl 1.500 und den Unterschied zwischen dem Brechungsverhältniß des Flintglases und der Zahl 1.600 und multiplicirt die erste Differenz mit **C**, die zweite mit **D**, so geben die Producte die erforderlichen Correctionen, welche entweder addirt oder subtrahirt werden müssen. Ist nämlich das gegebene Brechungsverhältniß des Kronglases größer, als das der Tafel (1.5), (wie es immer der Fall seyn wird) so muß die Correction zu der Zahl **B** addirt, im entgegengesetzten Fall aber davon subtrahirt werden. Gerade so verhält es sich auch mit der Correction wegen des Flintglases. Also wäre die Rechnung folgende:

Brechungsverhältniß des
Kronglases . . . = 1.512
Brechungsverhältniß der
Tafel . . . . . . = 1.500

Unterschied = 0.012
multiplicirt mit **C** = 1.542

Correction wegen des
Flintglases . . = 0.018504 (zu addiren).

Brechungsverhältniß des Flintglases . . .	=	1.623
Brechungsverhältniß der Tafel	=	1.600
Unterschied	=	0.023
multiplicirt mit D	=	0.541
Correction wegen des Flintglases . .	=	0.012443 (zu addiren).
B	=	1.00888
		0.018504 } addirt.
		0.012443
Vorderer Halbmesser der Flintglaslinse		1.03983.

Die Werthe von B, C und D müssen natürlich so gewählt werden, wie sie dem gegebenen Zerstreuungsverhältniß entsprechen.

Um nun noch den zweiten Halbmesser der Flintglaslinse zu finden, sucht man in Tafel II. die dem gegebenen Brechungsverhältniß des Kronglases entsprechende Zahl M und multiplicirt sie mit dem gegebenen Zerstreuungsverhältniß, das Product aber wieder mit dem vordern Halbmesser der Flintglaslinse, zieht von diesem Producte die 1 ab oder umgekehrt und dividirt mit dem Product in den genannten Halbmesser. Hierbei muß aber bemerkt werden, daß, wenn 1 größer ist, als das Product, von dem man sie abziehen will, die Hinterfläche der Flintglaslinse conver wird, im entgegengesetzten Fall aber hohl. Die ganze Rechnung wird am leichtesten mit Logarithmen auf folgende Weise geführt:

Log. der Zahl M	0.2919214
Log. des Zerstreuungsverhältnisses	0.8280151—1
Log. des vordern Halbmessers der Flintglaslinse . . .	0.0169623
Summe der Logg.	0.1368988
Zahl =	1.370563
davon	1 subtrahirt
Rest	0.370563 R.

Hieraus sieht man schon, daß die vierte brechende Fläche hohl ist, weil das Product, von dem 1 subtrahirt werden muß, größer ist als 1.

Log. des vordern Halbmessers der Flintglaslinse . .	0.0169623
Log. des Restes R . .	0.5688620—1 abgezogen
	0.4481003
Zahl =	2.8061 hinterer Halbmesser der Flintglaslinse.

Wir bemerken hierbei noch, daß, wenn der Rest R = o werden würde, die Hinterfläche der Flintglaslinse eben seyn müßte.

Um endlich noch die Brennweite des Doppelobjectivs zu finden, multiplicirt man die Zahl M mit dem Zerstreuungsverhältniß, was heraus kommt, wieder mit dem um 1 verminderten Brechungsverhältniß des Flintglases, zieht das Product von der, dem Brechungsverhältniß des Kronglases entsprechenden Zahl N ab und dividirt mit der Differenz in 1. Auch diese Rechnung führt man am bequemsten mit Logarithmen so:

Log. der Zahl M 0.2919214
Log. des Zerstreuungsverhältnisses 0.8280151—1
Log. des um 1 verminderten Brechungsverhältnisses des Flintglases . . . . 0.7944880—1

Summe 0.9144245—1
Zahl = 0.8211538
N = 1.00163

Unterschied = 0.1804762 . U

Log. U . . = 0.2564200—1
von o subtrahirt 0.7435800
Zahl = 5.54090 Brennweite des Doppelobjectivs.

Hierbei ist also, wie schon oben bemerkt wurde, die Brennweite der Kronglaslinse als Einheit angenommen; will man daher, wie man es in der Regel wünscht, zur Einheit lieber die Brennweite des Doppelobjectivs annehmen, so muß man mit dieser alle übrigen Maase dividiren. Man erhält da für gegenwärtigen Fall folgende Zusammenstellung, woneben zugleich noch die Einrichtung eines Objectivs von 60 Zoll Brennweite aufgeführt ist:

Brennweite des Doppelobjectivs . .	= 1.00000	60.000 Zoll
Halbmesser jeder Fläche der Kronglaslinse	= 0.18481	11.089 — convex
Vorderer Halbmesser d. Flintglaslinse . .	= 0.18766	11.260 — hohl
Hinterer Halbmesser d. Flintglaslinse . .	= 0.50643	30.386 — —
Oeffnung d. Objectivs	= 0.06436	3.862 —

Die Oeffnung fällt hier demnach nicht sehr bedeutend aus, obschon der hiet vorkommende Brechungswinkel ziemlich groß ist und wohl bis auf 20 Grad geht. Der Grund hiervon liegt in dem gerin=

gen Unterschiede der zerstreuenden Kräfte (§. 148) beider Glasarten, denn es ist deren Verhältniß: $\frac{m-1}{n-1} \cdot \frac{dn}{dm}$ (§. 146) = 0.819. Solche Glasarten sind daher zu achromatischen Fernröhren weniger tauglich.

2) Es sey Brechungsverhältniß des Kronglases 1.533
Brechungsverhältniß des Flintglases . . . 1.588
Zerstreuungsverhältniß $\frac{dn}{dm}$ = ... 0.552.

Hierfür ist nach Tafel II. der Krümmungshalbmesser der Kronglaslinse = 1.066 und die Oeffnung = 0.3714. Ferner aus Tafel I. die Zahl B = 1.00878, die Correction wegen des Kronglases = (1.533 — 1.500) × 1.421 = 0.033 × 1.421 = 0.046893 (zu addiren) und die Correction wegen des Flintglases = (1.600 — 1.588) × 0.584 = 0.012 × 0.584 = 0.007008 (zu subtrahiren), daher der vordere Halbmesser der Flintglaslinse = 1.00878 + 0.046893 — 0.007008 = 1.04866. Ferner:

Log der Zahl M . .	0.2744417
Log des Zerstreuungsverh.	0.7419391—1
Log des vordern Halbmessers der Flintglaslinse	0.0206761
Summe	0.0370569
Zahl	1.089073
subtrahirt	1
Rest	0.089073 R
Log des vordern Halbmessers der Flintglaslinse =	0.0206761
Log des Restes R . :	0.9497461—2 subtrah.
	1.0709300

Zahl = 11.7742 hinterer Halbmesser der Flintglaslinse (hohle Fläche).

Log der Zahl M 0.2744417
Log des Zerstreuungsverhältnisses 0.7419391—1
Log des um 1 verminderten Brechungsverhältnisses des Flintglases 0.7693771—1

Summe	0.7857581—1
Zahl	0.6106018
N =	1.00161
Unterschied	0.3910082 U

Log U . . . . = 0.5921859—1
von o subtrahirt . 0.4078141
Zahl = 2.5575 Brennweite des Doppelobjectivs.

Soll nun endlich die Brennweite des Doppelobjectivs die Einheit aller Maase seyn, so müssen wir die eben berechneten Zahlen mit 2.5575 dividiren und erhalten daher für gegenwärtige Glasarten folgende Einrichtung des Doppelobjectivs:

Brennweite des Doppelobjectivs	1.00000
Halbmesser jeder Fläche der Kronglaslinse	0.41682 conver
Vorderer Halbmesser der Flintglaslinse	0.41007 hohl
Hinterer Halbmesser der Flintglaslinse	4.6038 —
Oeffnung	0.14521.

Verlangt man daher ein Fernrohr von 5 Fuß = 60 Zoll Länge, so muß man die vorigen Zahlen mit 60 multipliciren, so daß

Brennweite des Objectivs . .	= 60.000 Zoll
Halbmesser jeder Fläche der Kronglaslinse	= 25.009 —
Vorderer Halbmesser der Flintglaslinse	= 24.604 —
Hinterer Halbmesser d. Flintglaslinse	= 276.228 —
Oeffnung	= 8.703 —

Die Oeffnung darf also bei diesen Glasarten ungemein groß seyn.

3) Wenn die Brechungsverhältnisse und das Zerstreuungsverhältniß in mehr als drei Decimalstellen gegeben sind, so muß man zu mehrerer Genauigkeit der Rechnung interpoliren, wiewohl bei kleineren Doppelobjectiven so genaue Rechnungen nicht nöthig sind. Es sey z. B. das Brechungsverhältniß des Kronglases 1.5334, das des Flintglases = 1.6165, das Zerstreuungsverhältniß = 0.6325. Hier findet man zunächst den Krümmungshalbmesser der Kronglaslinse, wenn man vom Brechungsverhältniß 1 subtrahirt und den Rest doppelt nimmt, nämlich (1.5334—1)·2 = 1.0668.

Um nun für das Zerstreuungsverhältniß = 0.6325 die Werthe von **B**, **C** und **D** zu haben, muß man interpoliren, man sieht aber schon aus der Tafel selbst, daß die Veränderungen nur unbedeutend sind. Man hat

nächst kleineres Zerstr. Verh.	0.632	dazu	**B** = 1.00974
— größeres —	—	0.633	—	**B** = 1.00970
	Unterschied	0.001	Unterschied	0.00004.

Unterschied des nächst kleineren Zerstreuungsverhältnisses von dem gegebenen = 0.0005. Nun bildet man folgende Proportion:

0.001 : 0.00004 = 0.0005 : Correction von **B**

daher Correction von **B** $= \frac{0.00004 \times 0.0005}{0.001} = 0.00002$

und diese Correction muß von dem zu **A** = 0.632 gehörigen Werthe von **B** subtrahirt werden, daher das richtige **B** = 1.00972. Für die Werthe von **C** und **D** kann man unmittelbar aus den Tafeln 1.517 und 0.547 nehmen, und hieraus finden sich die Correctionen wegen des Kron= und Flintglases 0.05067 und 0.00902, beide zu addiren, daher der vordere Halbmesser der Flintglaslinse = 1.00972 + 0.05067 + 0.00902 = 1.06941.

Um nun noch den andern Halbmesser dieser Linse zu finden, muß man vorher den Werth von M suchen, welcher dem Kronglase mit der Brechung 1.5334 = E entspricht, zu welchem Zwecke man interpoliren muß; nämlich:

Nächst kleineres E = 1.533	. . .	M = 1.881229	
— größeres = 1.534	. . .	M = 1.877700	
Unterschied 0.001 (I)		Untersch. 0.003429 (II)	

Unterschied des nächst kleineren E vom gegebenen = 0.0004 (III), daher die Proportion:

(I) (II) (III)

0·001 : 0·003429 = 0·0004 : Correction von M

$$\text{Correction von M} = \frac{0.003429 \times 0.0004}{0 \cdot 001} = 0.0013716,$$

zum nächst kleineren E gehöriges M	= 1.881229	
Correction .	0.0013716	zu subtrah.
richtiges M	= 1.8798574 = 1.879857	

und nun wird die Rechnung eben so fortgeführt, wie schon in den beiden vorigen Beispielen gewiesen worden. — Für den Werth von N ist gar keine Interpolation nöthig, da die Zahlen in der Tafel meistens nur um eine 1 in der letzten Stelle sich ändern.

§. 158.

Von einigen andern Anordnungen zusammengesetzter Objective.

1) Gleich nach der Erfindung der achromatischen Objective suchte man dieselben dadurch zu verbessern, daß man sie aus drei Linsen zusammensetzte, von denen die beiden äußersten aus Kronglas bestanden und convex waren, die mittlere aber aus Flintglas gearbeitet und hohl war. Man glaubte nämlich, daß die Brennweite der Kronglaslinse eines Doppelobjectivs zu kurz ausfalle und suchte daher ihre Brechung auf zwei minder convexe Linsen zu vertheilen, so daß nun wegen der größern Krümmung aller Flächen die

Oeffnung entweder größer werden durfte, als bei einem Doppelobjectiv, oder die Abweichung wegen der Gestalt kleiner wurde, wenn man die Oeffnung nicht vergrößerte. Dolland hat dergleichen Objective in großer Vollkommenheit ausgeführt. Man ist aber späterhin von den dreifachen Objectiven wieder abgekommen, theils weil durch die dritte Linse eine Schwierigkeit mehr bei der Ausarbeitung herbeigeführt wurde, theils auch weil durch drei Gläser mehr Licht verloren geht, als durch zwei. Frauenhofer's sämmtliche Objective sind nur doppelt und in der That reichen auch zwei Linsen von verschiedener zerstreuender Kraft vollkommen hin, allen Bedingungen eines guten Fernrohrs Genüge zu leisten. — Oriani hat ein dreifaches Objectiv aus drei gleichseitigen Linsen vorgeschlagen, was sich auch in der That wegen der Leichtigkeit in der Ausführung empfehlen würde, allein er hat nicht durch Rechnung nachgewiesen, ob die Kugelabweichung gehörig beseitigt ist. Wenn aber noch eine solche Abweichung übrig bliebe, welche nur gering wäre und über den mittlern Vereinigungspunkt der Centralstrahlen hinausginge, so würde dieselbe sich durch die Oculare vernichten lassen und dadurch unschädlich werden. — Hier können nur genaue Rechnungen die Entscheidung geben.

2) Größere Beachtung verdienen die von Littrow vorgeschlagenen dialytischen Fernröhre, bei welchen die beiden Linsen des Objectivs nicht, wie bisher, hart an einander stehen, sondern in einer ziemlichen Entfernung aufgestellt sind. Bei dieser Vorrichtung sollen nämlich kleinere Flintglasstücke ausreichen, indem diese Glasart immer sehr schwierig in homogenen Massen darzustellen ist, weil sich der Bleikalk nur sehr schwer mit den übrigen Ingredienzen des Glases vereinigt. Die hohle Flintglaslinse (Taf. XXVI. Fig. 8) braucht nämlich nur so groß zu seyn, daß

sie den Strahlenkegel MNC auffängt, welcher von den auf die ganze Fläche der convexen Kronglaslinse A mit der Axe parallel auffallenden und von ihr nach dem Brennpunkte C zugebrochenen Strahlen gebildet wird. Wenn aber solche Fernröhre mit Vortheil gebaut werden sollen, so sind solche Glasarten erforderlich, deren zerstreuende Kräfte weit verschiedener sind, als bei dem bisherigen Flint- und Kronglas. Auf Littrow's Vorschlag hat der Optiker Plößl in Wien solche Fernröhre wirklich verfertigt und eines davon befindet sich auf der Wiener Sternwarte, welches bei einer Länge von 4 Fuß 4 Zoll Oeffnung besitzt und selbst einen Frauenhoferschen Refractor von 6 Fuß Länge übertreffen soll. — Für die Brechung solcher Fernröhre müssen wir den Mathematik verstehenden Künstler um so mehr auf Littrow's Dioptrik (Wien, 1830) verweisen, da wegen der Schwierigkeit, die hierzu erforderlichen Glasarten zu erhalten, diese Fernröhre noch nicht allgemein im Gebrauch sind. Das Verhältniß der Brennweiten beider Linsen läßt sich leicht aus der Formel berechnen:

$$q = \frac{n-1}{m-1} \cdot \frac{dm}{dn} \cdot \frac{(p-d)^2}{p}$$

berechnen, wo q die Brennweite der Hohllinse, m ihre mittlere Brechung, dm ihre Zerstreuung und d ihren Abstand von der Convexlinse bedeutet; p ist die Brennweite der Convexlinse, n ihr Brechungsverhältniß, dn ihre Zerstreuung.

Es sey z. B.

$p = 2$ Fuß
$d = 1$ —
$n = 1.55$
$dn = 0.006$
$m = 1.62$
$dm = 0.03$,

so ist $\frac{n-1}{m-1} \cdot \frac{dm}{dn} = \frac{0.55}{0.62} \cdot \frac{0.03}{0.006} = 4.4355$ und $q = 4.4355 \times \frac{(2-1)^2}{2} = 2.2177$ Fuß. Hieraus findet sich der Abstand des Bildes eines unendlich weit entfernten Objects von der zweiten Linse ungefähr $= 1.82$ (§. 93), so daß die Länge des Rohrs $= 2.82$ Fuß betragen würde; die zweite Linse braucht aber nur halb so groß zu seyn, als die erste.

Littrow gibt in seiner Dioptrik folgendes Beispiel einer genauen Rechnung, wobei das Brechungsverhältniß des Kronglases $= 1.53$, seine Zerstreuung $= 0.006$, das Brechungsverhältniß des Flintglases $= 1.58$, seine Zerstreuung $= 0.036$ genommen ist.

Brennweite der Kronglaslinse	= 1.00000	
Halbmesser jeder Fläche	= 1.06000	convex
Abstand der Flintglaslinse	= 0.63520	
Halbmesser der Vorderfläche	= 0.16188	hohl
Halbmesser der Hinterfläche	= 0.26218	convex
Länge des Rohrs .	= 1.36476	
Oeffnung der vordern Linse	= 0.16928	der Länge d. Rohrs
Oeffnung der zweiten Linse	= 0.06175	— — — —

Also ist bei einer Länge des Rohrs von 2 Fußen die Oeffnung der ersten Linse = 4.062 Zoll, die der zweiten aber nur 1.482 Zoll. Bei der hier angeführten Einrichtung kommen indeß Brechungswinkel vor, welche bis 20, ja über 33 Grad gehen, und es möchte daher sehr zu bezweifeln seyn, ob eine so große Oeffnung zulässig sey; denn es wird wohl

die Abweichung der äußersten Randstrahlen gehoben, allein die Abweichung der Strahlen, welche zwischen dem Mittelpunkt und dem Rand auffallen, bleibt doch immer noch groß genug, um sehr störende Undeutlichkeit zu bewirken.

Rogers hat überdieß noch den Vorschlag gethan, die Abweichung der ersten Linse durch eine von ihr getrennt aufgestellte Doppellinse zu verbessern, deren convexe aus Kronglas und deren hohle aus Flintglas besteht. Beide sollen für die mittlern Strahlen gleiche Brennweite haben, so daß die Verbindung auf diese Strahlen gar keine Brechung äußert. Dadurch würde die mittlere Brennweite der vordern Linse gar nicht geändert werden, für die rothen und violeten Strahlen aber, so wie für die Kugelabweichung die gehörige Correction bewirkt.

3) Euler hegte zuerst den Gedanken, daß sich die optischen Instrumenten so sehr nachtheilige Farbenzerstreuung durch Objective müsse heben lassen und schlug daher zum Objectiv eines Fernrohrs zwei Glaslinsen vor, deren Zwischenraum mit Wasser gefüllt seyn sollte; allein die Versuche, die man in Frankreich anstellte, entsprachen den Eulerschen Rechnungen nicht, da er ein falsches Gesetz über die Farbenzerstreuung zu Grunde gelegt hatte; auch ist das Wasser nicht die hierzu geeignete Flüssigkeit. Der ältere Blair in England faßte zuerst den Euler'schen Gedanken wieder auf und verfertigte ein Objectiv, welches aus zwei convexen Spiegelglaslinsen bestand, deren Halbmesser sich wie 1 : 6 verhielten und zwischen denen Terpentinöl eingeschlossen war. Sie gab zwar farblose Bilder, war aber zur Wegbringung der Abweichung wegen der Kugelgestalt nicht geeignet. Allein so wichtig auch der Gebrauch der Flüssigkeiten von der einen Seite hätte werden können, weil man unter ihnen leichter eine solche Wahl treffen könnte,

daß die secundären Spectra unmerklich wurden, so blieben Blairs Versuche doch lange ohne weitern Erfolg, und besonders bemerkte Frauenhofer, daß die ungleiche Temperatur der Brauchbarkeit eines Fernrohrs mit eingeschlossenen Flüssigkeiten allemal Hindernisse in den Weg setzen müsse; denn indem die flüssige Linse bei einem Wechsel der Temperatur ungleich erwärmt wird, so senken sich die kältern und specifisch schwerern Theile, während wärmere in die Höhe steigen, wodurch Ungleichheiten in dem Brechungsvermögen und ähnliche Fehler, wie bei wellenförmiger und streifiger Flintglasmasse, entstehen, die selbst bei kleinen Aenderungen der Temperatur sehr störend auf die Deutlichkeit der Bilder wirken können. Auch zweifelte man an der Dauerhaftigkeit solcher Instrumente, indem zu fürchten war, daß die Flüssigkeit bald verdunsten oder durch Absetzung von Krystallen ihre Natur verändern würde.

Dieser Besorgnisse ungeachtet ist doch der Gebrauch von Flüssigkeiten zu achromatischen Linsen kürzlich aufs Neue von Barlow und dem jüngern Blair empfohlen worden und der letztere hat die Dauerhaftigkeit solcher Fernröhre an den von seinem Vater verfertigten Exemplaren außer Zweifel zu ziehen gesucht. Er besitze nämlich ein seit 30 Jahren verfertigtes Fernrohr dieser Art, das noch immer die gewöhnlichen achromatischen Fernröhre von eben der Brennweite übertreffe und das in der ersten Zeit zwar durch Absetzung einiger kleinen Krystalle eine kleine Aenderung erlitten, dann aber sich immer gleich erhalten habe. Um diesem geringen Nachtheile kleiner Aenderungen auszuweichen, sey nachher ein anderes Fluidum angewendet worden und dieses besitze die Eigenschaft, eine vollkommene Correction der chromatischen Abweichung zu bewirken, weil es die verschiedenfarbigen Strahlen ganz in eben dem Verhältnisse, wie das

Kronglas zerstreue. Die Unveränderlichkeit dieser Linsen werde, glaubt Blair, die der gewöhnlichen achromatischen, zwischen denen sich doch endlich Staub einschleicht, übertreffen, wenn man sie aus zwei Glaslinsen mit dazwischen eingeschlossener Flüssigkeit bilde, aber freilich bedürfe man bei den Linsen, wo die sphärische Abweichung ganz corrigirt werde, dreier Linsen, unter denen zwei ohne zwischenliegende Flüssigkeit auf die gewöhnliche Weise an einander liegen. Die bis dahin wirklich ausgeführten Fernröhre waren indeß alle nur von kleinen Abmessungen und gestatteten noch keinen sichern Schluß auf einen eben so guten Erfolg bei großen Oeffnungen. Aber Barlow hat nun wirklich solche Fernröhre von 3½ Zoll und von 6 Zoll Oeffnung ausgeführt, welche beide von erwünschter Wirkung seyn sollen. Barlow theilt darüber Folgendes mit. Die zwischen zwei richtig geschliffenen Spiegelgläsern eingeschlossene Flüssigkeit ist Schwefelkohlenstoff und diese corrigirende Linse wird beträchtlich weit von der vordern Spiegelglaslinse aufgestellt; dieser Abstand geht bis auf die halbe Brennweite der vordern Linse und kann selbst noch weiter gehen. Diese Entfernung gewährt, wegen der hier schon in einen sehr engen Raume gesammelten Strahlen, den Vortheil, daß diese Linse viel kleiner, als die Oeffnung des Fernrohrs oder als der Durchmesser der vordern Linse werden darf, und indem sie kaum den halben Durchmesser zu haben braucht, mit eben so viel Leichtigkeit für 12 Zoll Oeffnung ausgeführt wird, als bei einer Oeffnung von 6 Zoll der Fall wäre, wenn diese flüssige Linse sogleich an der Oeffnung selbst angebracht würde. Das Verhältniß der Farbenzerstreuung gegen Spiegelglas ist nach Verschiedenheit der des Glases zwischen 0.298 und 0.334, das Brechungsverhältniß selbst aber = 1.645, ungefähr wie für Flintglas, und wegen dieser Eigenschaf-

ten würde, wie Barlow angibt, ein Fernrohr dieser Art von 10 oder 12 Fuß Länge eben so viel leisten, als die bisherigen achromatischen Fernröhre von 16 bis 20 Fuß Länge. In Barlow's Fernrohre hat die Spiegelglaslinse 6 Zoll Durchmesser und 48 Zoll Brennweite, die flüssige Linse steht 6 Zoll weit von ihr entfernt und die Brennweite der vereinigten Linsen ist 62½ Zoll, so daß das Ganze wie eine einzige Linse von 6 Zoll Oeffnung und 125 Zoll Brennweite wirkt (§. 93 und 94). Dadurch, daß man die flüssige Linse etwas nähert oder entfernt, kann man die Abweichungen aller Art so gering machen, als es nur möglich ist. Die Wirkungen dieses Fernrohrs sollen außerordentlich seyn. So erscheint der Polarstern mit seinem kleinen Nebenstern als ein schönes Bild einer Sonne und eines Planeten, und der Nebenstern des Aldebaran ist so glänzend, daß man ihn sogleich auf den ersten Blick erkennt. Später hat Barlow eine Glaslinse von 78 Zoll Brennweite mit der flüssigen Linse, die in 40 Zoll Entfernung aufgestellt ist, so angebracht, daß der Brennpunkt der verbundenen Linsen in 104 Zoll Entfernung fällt; dieses Fernrohr leistet bei 7.8 Zoll Oeffnung so viel, als sonst ein Fernrohr von 18 Fuß Länge. Die Halbmesser der Gläser, die das Fluidum einschließen, sind 144 Zoll an der Seite nach dem Auge und 44 Zoll und 30 Zoll an der andern Seite, die Halbmesser der Glaslinse 56.4 und 144 Zoll. (S. Gehler's physikal. Wörterb. Neue Ausgabe; Artikel Linsenglas.) — Wie vortrefflich sich aber auch diese Fernröhre in andern Fällen bewiesen haben mögen, so dürften sie doch zu Sonnenbeobachtungen keineswegs sich eignen und Littrow bemerkt mit Recht, daß sie seinen dialytischen Fernröhren immer nachstehen werden, sobald die hierzu erforderlichen Glasarten dargestellt seyn werden.

§. 159.

Von den vollkommenen Ocularen.

Da bei einem Doppelobjective die Farbenzerstreuung und die Abweichung wegen der Kugelgestalt weggebracht sind, so fallen nun auch alle die Rücksichten weg, welche man bei einem einfachen Objectiv auf jene Fehler nehmen mußte, und die Vergrößerung eines Fernrohrs wird nun hauptsächlich nur durch die ihm nothwendige Lichtstärke, dann auch durch das Gesichtsfeld beschränkt. Da aber bei gleichen Brennweiten ein Doppelobjectiv eine weit größere Oeffnung verträgt, als ein einfaches, so kann man auch bei ersterem die Vergrößerung viel weiter treiben, als bei dem letzteren, weil die Lichtstärke, welche im Verhältniß der Quadrate der Vergrößerung abnimmt, in eben dem Verhältniß durch die erweiterte Oeffnung wieder wächst. Wenn ein Doppelobjectiv die Oeffnung hat, bei welcher der Rest der Kugelabweichung unmerklich wird, so verträgt es ein Ocular von $\frac{1}{2}$ Zoll Brennweite, ohne daß die Lichtstärke zu sehr geschwächt wird, und wenn daher die Brennweite des Objectivs in Zollen $= p$ ist, so ist die zulässige Vergrößerung $= 2p$, so daß man mit einem Objectiv von z. B. 60 Zoll Brennweite eine $= 2 \times 60 = 120$fache Vergrößerung hervorbringen darf. Sollte diese Vergrößerung mit einem einfachen Objectiv hervorgebracht werden, so wäre dazu nach Huyghens eine Brennweite von etwa 420 Zollen erforderlich, nach Mayer gar mehr als 1200 Zoll, so daß im letztern Falle das Fernrohr wenigstens 7 mal, oder wohl gar 20 mal länger seyn müßte, als im ersten. Hieraus leuchtet der große Werth der achromatischen Objective zur Genüge ein.

Nicht immer gebraucht man jedoch die eben bezeichnete Vergrößerung, sondern oft wählt man eine

geringere, um eine größere Helligkeit zu erreichen. Die größte Helligkeit, die man mit einem Fernrohr erhalten kann, ist der mit bloßen Augen gleich, und die Vergrößerung, bei der sie stattfindet, wird gefunden, wenn man die Oeffnung des Objectivs in Zollen mit 0.06 dividirt. Ist z. B. die Oeffnung des Objectivs = 4 Zoll, so findet die größte Helligkeit bei einer Vergrößerung $\frac{4}{0.06} = 67$ mal statt, und diese Vergrößerung ist zugleich die geringste, die man an einem Fernrohr anzubringen pflegt. — Die Helligkeit eines achromatischen Fernrohrs wird übrigens eben so bestimmt, wie in §. 133, und wenn sie der natürlichen gleich werden soll, so muß der dort beschriebene Strahlenkegel in seinem Durchschnitte dem Durchmesser der Augenöffnung = 0.06 Zoll seyn, woraus sich die genannte kleinste Vergrößerung leicht erklären läßt.

Die stärkste Vergrößerung aber findet ihre vorzüglichste Grenze in der Kürze der Brennweite des Oculars, welche nicht gut unter $\frac{1}{5}$ Zoll seyn kann, wenn nicht eine zu große Verengung des Gesichtsfeldes und eine bedeutende Verzerrung der Bilder am Rande desselben eintreten soll. Wenn daher die Brennweite des Objectivs in Zollen = p ist, so ist die stärkste Vergrößerung = 5p, bei 60 Zoll Brennweite also = 5.60 = 300 mal. Daher gibt man Fernröhren von größerer Länge mehrere Oculare, um verschiedene Vergrößerungen hervorzubringen und Frauenhofer pflegte dieselben so zu nehmen, daß jede schwächere Vergrößerung $\frac{2}{3}$ von der nächst vorhergehenden stärkeren betrug. So hat er z. B. für 60 Zoll Brennweite des Objectivs 270-, 180-, 120-, 80- und 54-malige Vergrößerung. Bei den geringern Vergrößerungen sind die Oculare zusamengesetzt, in der Art, die wir nachher beschreiben werden, aber stärkere Vergrößerungen werden gewöhnlich nur mit einfachen Ocularen hervorgebracht.

Wenn nun beiderlei Abweichungen des Doppelobjectivs vernichtet worden sind, so bleiben sie doch noch bei den Ocularen übrig, allein die Farbenzerstreuung und Kugelabweichung des Oculars ist so gering, daß sie keinen merklichen Einfluß auf die Deutlichkeit des Sehens äußert, besonders dann, wenn durch ein zusammengesetztes Ocular der farbige Rand gehoben ist. Auch kann man durch geschickte Anordnung der Linsen eines zusammengesetzten Oculars verhüten, daß die kleine Abweichung die Grenze überschreitet, welche wegen des deutlichen Sehens noch zuläßlich ist. Daher ist man ganz von den Bemühungen abgekommen, die Anordnung der Linsen des Fernrohrs so zu machen, daß alle Abweichung gehoben wird, zumal da bei verschiedenen Augen, je nach ihrer Weit- oder Kurzsichtigkeit, die Stellung der Oculare veränderlich ist. Nur den Vorschlag, das Ocular eines astronomischen Fernrohrs auf gleiche Weise aus einer Kron- und Flintglaslinse zur Aufhebung beiderlei Abweichungen zusammenzusetzen, hat man neuerdings wieder aufgefaßt und ausgeführt. Man wendete dagegen ein, daß die Krümmungen der Glasflächen zu groß und die Oeffnung des Oculars zu gering ausfielen, auch die Ausführung zu großen Schwierigkeiten unterworfen sey, allein Duwe in Berlin hat dennoch solche Oculare verfertigt und die Versuche, welche die Berliner Astronomen damit angestellt haben, sollen sehr befriedigend gewesen seyn, besonders versichert Mädler, der sie an seinem Frauenhoferschen Refractor anbrachte, gleich auf den ersten Blick im Monde eine Menge neuer, vorher noch nie gesehener Flecken bemerkt zu haben.

Solche Oculare werden eben so berechnet, wie wir es für die Objective (§. 149 bis 157) gezeigt haben, nur wird die Flintglaslinse dem Bilde zugekehrt, damit alle Strahlen, welche vom Brennpunkte des Doppelobjectivs ausgehen, nach dem Austritt aus demsel-

ben unter sich parallel sind und keine Abweichung stattfinden kann.

§. 160.

Ocular des holländischen Fernrohrs.

Es ist leicht begreiflich, daß auch das Gesichtsfeld bei einem Fernrohre mit einem Doppelobjectiv größer seyn wird, als es bei einem einfachen Objectiv der Fall ist, wenigstens ist im erstern Fall keine so große Oberfläche des Oculars nöthig, als im letztern und dieser Umstand trägt vorzüglich viel zur Verbesserung des holländischen Fernrohrs bei, bei welchem das Gesichtsfeld, das man mit einem Blick übersehen kann, wie wir wissen, nicht größer ist, als wenn die Oeffnung des Oculars der des Auges gleich wäre. Es sey z. B. die Brennweite des Doppelobjectivs = 5 Zoll und seine Oeffnung gehörig groß, so läßt sich ein hohles Ocular von $\frac{1}{2}$ Zoll Zerstreuungsweite dazu stellen, so daß die Vergrößerung 10fach und die Länge des Instruments = $4\frac{1}{2}$ Zoll wird. Nimmt man nun die Oeffnung des Auges = 0.06 Zoll, so berechnet sich das Gesichtsfeld auf 46 Minuten, welches noch hinlänglich groß ist. Aus §. 143 ersehen wir, daß bei einem einfachen Objectiv die Länge des Rohrs = 16 Zoll sey und das Gesichtsfeld nur 13 Minuten betragen würde. Hierzu kommt noch, daß wegen der aufgehobenen Farbenzerstreuung die Bilder doch netter und klarer aussehen, als bei einem einfachen Objective.

Das Ocular macht man gern planconcav und kehrt die hohle Seite dem Auge zu, weil die Kugelabweichung dieser Linsen, wie wir wissen, der kleinstmöglichen sehr nahe kommt.

§. 161.

Zusammengesetztes Ocular des holländischen Fernrohrs.

Um das Gesichtsfeld zu erweitern und den farbigen Rand zu zerstören, hat man zwischen das Ob-

jectiv und das hohle Ocular noch ein converes Glas, das Sammelglas eingesetzt und diese Vorrichtung kann zugleich auch dienen, die Kugelabweichung der Oculare ganz zu vernichten. Die Einrichtung ist in folgenden Formeln enthalten:

Brennweite des Objectivs $= p$

Vergrößerungszahl . $= m$

Abstand des converen Oculars vom Objective . $= \left(\frac{m-1}{m+1}\right) p$

Brennweite des converen Oculars . . . . . $= \frac{m-1}{(m+1)^2} p$

Abstand d. hohlen Oculars vom converen . . . $= \frac{(m-1)^2 p}{m(m+1)(3m+1)}$

Zerstreuungsweite des hohlen Oculars . . . . $= \frac{m-1}{m(3m+1)} p$

Gesichtsfeld . . . . $= \frac{206.28}{p} \times \frac{3m+1}{2(m-1)}$ Minuten,

wobei die Oeffnung des Auges $= 0.06$ genommen ist.

Dieses zusammengesetzte Ocular läßt sich sowohl bei einem einfachen, als auch bei einem zusammengesetzten Objective brauchen. Es sey z. B. die Vergrößerung $m = 10$ und die Brennweite p des Objectivs $= 5$ Zoll (§. 160), so ergibt sich folgende Einrichtung des Oculars:

Abstand des converen Oculars vom Objective	4.091 Zoll
Brennweite des converen Oculars .	0.372 —
Abstand d. hohlen Oculars vom converen	0.119 —
Zerstreuungsweite des hohlen Oculars	0.145 —
Gesichtsfeld	71 Minuten
Länge des Rohrs	4.210 Zoll

Hier sieht man wohl, daß das Gesichtsfeld viel größer geworden ist, als mit dem einfachen Ocular im vorigen §. und daß selbst die Länge des Rohrs um eine Kleinigkeit abgenommen hat; allein die Brennweite des concaven Oculars ist so gering, daß an ihr die ganze Einrichtung scheitert; denn nimmt man als ihre größte noch zulässige Oeffnung die Hälfte der Brennweite 0.072 Zoll, so wird dieses nicht viel größer, als die Augenöffnung, in vielen Fällen wohl noch geringer. Man muß daher zu dieser Vergrößerung entweder ein Objectiv von größerer Brennweite nehmen, oder bei der Brennweite 5 Zoll die Vergrößerung vermindern. Nimmt man z. B. die Vergrößerung nur 6fach, so findet sich die Brennweite des concaven Oculars 0.22, welches sich ausführen läßt.

Nehmen wir die Brennweite eines einfachen Objectivs, um eine 10fache Vergrößerung hervorzubringen = 16 Zoll, so findet sich das Gesichtsfeld = $22\frac{1}{5}$ Minute. Bei einem einfachen Oculare, welches 1.6 Zoll Brennweite haben müßte, würde das Gesichtsfeld nur $14\frac{3}{10}$ Minuten betragen.

Es ist nicht rathsam, dieses Ocular an ein achromatisches Objectiv anzubringen, weil, wie man gesehen hat, die Vergrößerung offenbar durch die allzu sehr gekrümmte Concavlinse leidet. Denn der Vortheil wegen des aufgehobenen farbigen Rands ist hier, wo immer das Gesichtsfeld nicht sehr groß ist, nur unbedeutend, so daß man sich mit einem einzigen planconcaven Oculare begnügen kann, wie es die besten Künstler thun. — Uebrigens ist es leicht, die Brechung, welche bei einem solchen Fernrohre mit doppeltem Ocular vor sich geht, durch eine Zeichnung zu verfolgen, wobei man nur zu bedenken hat, daß das doppelte Ocular wie ein einziges Zerstreuungsglas wirkt.

§. 162.

Zusammengesetztes achromatisches Ocular erster Klasse des astronomischen Fernrohrs.

Dieses Ocular heißt darum achromatisch, weil es den farbigen Rand aufhebt und besteht aus zwei getrennt aufgestellten Convexgläsern von derselben Glasart, namentlich von Kronglas, welches seiner geringen Farbenzerstreuung halber zu allen Ocularen verwendet wird. Die Einrichtung ist folgende:

Brennweite des Objectivs $= p$

Vergrößerung . . . . $= m$

Abstand des ersten Oculars vom Objectiv $\frac{m-1}{m} p$

Brennweite dieses Oculars . . . $\frac{2p(m-1)}{m(m+1)}$

Abstand des Bildes vom ersten Ocular $\frac{2p(m-1)}{m(3m-1)}$

Brennweite des zweiten Oculars . $\frac{2p(m-1)}{m(3m-1)}$

Abstand beider Oculare . . . . . . $\frac{4p(m-1)}{m(3m-1)}$

Ort des Auges . . . . $\frac{2p(m^2-1)}{m^2(3m-1)}$.

Bei starken Vergrößerungen ist indessen folgende einfache Einrichtung genügend:

Brennweite des ersten Oculars . . . $\frac{2p}{m} = q$

Abstand des Bildes vom ersten Ocular $\frac{2p}{3m} = \frac{1}{3} q$

Brennweite des zweiten Oculars . $\frac{2p}{3m} = \frac{1}{3} q$

Abstand beider Oculare . . . . . $\frac{4p}{3m} = \frac{2}{3} q$

Ort des Auges . . . . $\frac{1}{3} q$.

Also muß die Brennweite der ersten Oculars 8 mal so groß seyn, als die des zweiten und das Bild fällt genau in ihre Mitte. Ehe also das Bild des Objectivglases zur Wirklichkeit kommt, werden die Strahlen vom ersten Oculare (dem Collectivglase) aufgefangen und dadurch in einen engern Raum zusammengebracht, so daß man an Vergrößerung verlieren würde, wenn nicht das zweite Ocular eine kürzere Brennweite hätte, als das einfache Ocular bei derselben Vergrößerung. Die Vergrößerung des zusammengesetzten Oculars ist gerade so groß, als die bei einem einfachen Oculare stattfindende, dessen Brennweite der halben Brennweite des Collectivglases gleich ist. Die Oeffnung eines jeden Oculars ist seiner halben Brennweite gleich und in der Mitte beider, am Orte des Bildes, befindet sich eine Blendung, welche $\frac{2}{3}$ der Oeffnung des ersten Oculars als Oeffnung erhält. Diese Blendung darf nicht zu sehr verengt werden, damit das Gesichtsfeld nicht leide, welches hier zweimal so groß werden kann, als bei einem astronomischen Fernrohre mit einfachem Ocular, das gleich stark vergrößert. Die Größe des Gesichtsfeldes ist $\frac{3438}{m+1}$ Minuten, während es bei einfachem Ocular nur $\frac{1719}{m+1}$ Minuten beträgt.

Das, was im Vorigen Ort des Auges genannt ist, ist nichts weiter, als der Punkt der Axe, wo die vom Rande des Gesichtsfeldes herkommenden Hauptstrahlen sich durchschneiden, die Vorrichtung wird aber so gemacht, daß das Auge nur halb so weit vom letzten Ocular abzustehen kommt. Es wird auf die Ocularröhre ein Deckel, der Oculardeckel, aufgeschraubt, in einer Entfernung, die halb so groß ist, als die Brennweite des letzten Oculars, und die Oeffnung desselben dem dritten Theile von der Oeffnung der Blendung gleich gemacht.

Beide Gläser sind planconvex und kehren die erhabenen Seiten nach dem Objective hin, wobei das erste Ocular um $p - \frac{p}{m}$ vom Objectiv absteht, also um die Hälfte seiner Brennweite über den Brennpunkt des Objectivs hinausgeht; sie werden in zwei in einander verschiebbare Röhren eingefaßt, damit man versuchsweise am besten diejenige Entfernung zwischen ihnen finden kann, bei welcher der farbige Rand am meisten verschwindet. Diese Entfernung muß man genau bemerken. — Daß übrigens die Ocularröhre selbst beweglich seyn müsse, um sie nach der größern oder geringern Entfernung der Objecte, so wie nach der Verschiedenheit der Augen verschieben zu können, versteht sich von selbst.

§. 163.

Die Eigenschaften dieses Oculars, welches vor allen andern so große Vorzüge besitzt und ohne welches ein Fernrohr nicht vollkommen ist, wenn auch das Objectiv mit noch so großer Präcision ausgearbeitet wäre, wollen wir nun etwas näher erörtern. Zuerst aber ist klar, daß das Gesichtsfeld doppelt so groß werden kann, als bei einem einfachen Oculare mit derselben Vergrößerung; denn die Brennweite der ersten Ocularlinse ist doppelt so groß, als die der einfachen Linse, welche dieselbe Vergrößerung hervorbringt, und folglich kann auch im erstern Falle die Ocularöffnung doppelt so groß werden, als im zweiten, wodurch das Gesichtsfeld in eben dem Maase wächst. Von der ersten Ocularlinse werden nun die äußersten Hauptstrahlen nach der Axe zu gebrochen, aber ehe sie diese treffen, von der zweiten Linse aufgefangen.

Die Stellung des Objectivs **A** (Taf. **XXV.** Figur 1) und der beiden Oculare **B** und **C** ist nämlich so, daß das Bild des Objectivs gerade auf das letzte

Ocular C fallen würde, wenn das Glas B herausgenommen würde, aber eben dieses Glas zieht es bis in den Brennpunkt D der Linse C zurück, so daß nun aus C die Strahlen unter sich parallel austreten und deutliches Sehen stattfindet. Dabei wird der Hauptstrahl AE vom Glase B in die Richtung EG gebrochen, von der Linse C aufgefangen und in die Richtung GK gebracht.

Der Hauptstrahl AE aber, welcher aus dem Objectiv A farblos heraustritt, wird von der Linse B in die prismatischen Farben gespalten, so daß der rothe Strahl in G, der stärker gebrochene violete aber in G′ die Linse C trifft. Beide können nun zwar durch eine convexe Linse nicht in demselben Punkte der Axe wieder vereinigt werden, allein dieses ist nicht einmal nöthig, da dadurch der farbige Rand nicht aufgehoben werden würde; aber man kann die convexe Linse C so stellen und ihre Brennweite so wählen, daß der rothe Hauptstrahl GK mit dem violeten G′K′ und mit allen zwischenliegenden heterogenen Strahlen parallel wird, wodurch natürlich der Lichtcylinder GG′, K′K weiß wird und der farbige Rand verschwinden muß.

§. 164.

Das astronomische Doppelocular zweiter Klasse.

Das vorige Doppelocular besitzt neben seinen großen Vorzügen den Nachtheil, daß sich kein Mikrometer anbringen läßt und daher allenthalben da nicht gebraucht werden kann, wo eine solche Vorrichtung erforderlich ist. Das Mikrometer besteht nämlich aus einem Netze sehr feiner Fäden, welches gerade da steht, wo das Bild hinfällt, damit es mit diesem zugleich deutlich wahrgenommen werden kann. In dem vorigen Oculare müßte daher das Mikrometer gerade in

D stehen, in der Mitte beider Linsen, aber dieser Ort des Bildes ist bei terrestrischen Objecten in gewissem Grade veränderlich, je nachdem dieselben näher oder entfernter sind.

Ramsden setzte daher ein Ocular aus zwei Planconvexlinsen mit einander zugekehrten Convexitäten (Taf. XXIV. Fig. 4) zusammen, welches zwar den farbigen Rand nur beinahe hebt, aber doch ein großes Gesichtsfeld gibt, abgesehen davon, daß die Farbenzerstreuung nur unmerklich ist. Ihr Abstand beträgt $\frac{2}{3}$ der Brennweite einer jeden Linse, und ein eben so stark vergrößerndes einfaches Ocular würde $\frac{3}{4}$ von der Brennweite einer Linse zur Brennweite haben müssen.

Nach diesen Angaben ist es leicht, das Ocular zu construiren, denn man braucht nur die Brennweite des einfachen Oculars zu suchen, welches eine gegebene Vergrößerung hervorbringen soll, und von ihrem Vierfachen den dritten Theil zu nehmen, um die Brennweite der Linsen des zusammengesetzten Oculars zu haben.

Die Oculare, welche Frauenhofer für diesen Zweck verfertigte, sind etwas anders vorgerichtet und sehr nahe in folgenden Formeln enthalten, die Littrow in seiner Dioptrik angibt, wobei die Buchstaben p und m die schon genannte Bedeutung haben. — Wir bemerken noch, daß das Bild hier, nicht wie vorhin, zwischen beide Oculare fällt, sondern unmittelbar vom Objective hervorgebracht wird und zwischen diesem und dem ersten Oculare liegt. Es wird daher durch beide Oculare, die wie ein Sammelglas wirken, eben so betrachtet, wie mit einem einfachen Oculare.

Brennweite des zusammengesetzten Oculars oder die Entfernung des Bildes von der ersten Linse . .	$\frac{2p}{11m+9}$ oder $\frac{6p}{13m+7}$
Brennweite der ersten Linse . . .	$\frac{22p}{11m+9}$ oder $\frac{26p}{13m+7}$
Brennweite der zweiten Linse . . .	$\frac{11p}{10m}$ oder $\frac{13p}{10m}$
Abstand beider Linsen	$\frac{9.9(m+1)p}{m(9+11m)}$ oder $\frac{9.1(m+1)p}{m(13m+7)}$

Sollte z. B. die Vergrößerung 30fach seyn, so hätte man folgende Anordnung, wobei die Brennweite des Objectivs als Einheit vorausgesetzt ist:

Brennweite des zusammengesetzten Oculars	0.00590	oder	0.0151
Brennweite der ersten Linse	0.0649	"	0.0655
" " zweiten Linse	0.0367	"	0.0432
Abstand beider Linsen . . .	0.0302	"	0.0237

Wollte man mit einem Objective von 60 Zoll Brennweite eine 100malige Vergrößerung zu Werke bringen, so hätte man nach der zweiten Formelreihe die Brennweite des zusammengesetzten Oculars = 0.275, der ersten Linse = 1.193, der zweiten 0.780, ihren Abstand 0.422, alles in Zollen, und wenn man die Oeffnung einer jeden Linse der Hälfte ihrer Brennweite gleich nimmt, das Gesichtsfeld = 34 Minuten.

Gewöhnlich gibt man folgende kürzere Rechnung:

Die Brennweite der ersten Linse gleich der doppelten Brennweite des Objectivs', dividirt durch die Vergrößerungszahl . . . . $\frac{2p}{m}$.

Die Brennweite der zweiten Linse $= \frac{5}{9}$ der ersten.

Die Entfernung beider Linsen $= \frac{4}{9}$ der Brennweite des ersten Glases.

Die Brennweite der gleich stark vergrößernden einfachen Linse gleich der halben Brennweite des ersten Glases.

Die Oeffnungen beider Linsen betragen die Hälfte ihrer Brennweiten.

Die Entfernung des Bildes von der ersten Linse ist $\frac{1}{10}$ der Brennweite derselben.

Ort des Auges $= \frac{5}{18}$ von der Brennweite der ersten Linse.

Wollte man z. B. mit einem solchen Oculare bei 60 Zoll Brennweite des Objectivs eine 180fache Vergrößerung herstellen, so hätte man die Brennweite der ersten Linse $= \frac{2.60}{180} = \frac{120}{180} = \frac{2}{3}$ Zoll, die Brennweite der zweiten $= \frac{5}{9} \times \frac{2}{3} = \frac{10}{27}$ Zoll, den Abstand beider $= \frac{4}{9} \times \frac{2}{3} = \frac{8}{27}$ Zoll, die Entfernung des Bildes von der ersten Linse $= \frac{1}{10} \times \frac{2}{3} = \frac{1}{15}$ Zoll; den Ort des Auges endlich $= \frac{5}{18} \times \frac{2}{3} = \frac{5}{27}$ Zoll.

Beide Linsen werden planconvex mit einander entgegengekehrten Convexitäten.

Ein Nachtheil dieses Oculars ist der, daß das Bild sehr nahe an der ersten Linse liegt, wodurch die Unvollkommenheit der ersten Fläche dieses Glases und der auf ihr liegende Staub sehr sichtbar werden. Man muß daher diese Fläche sehr vollkommen poliren und sie vor dem Gebrauche des Instruments von Schmuz sorgfältig reinigen.

§. 165.

Das dreifache terrestrische Ocular.

Es lassen sich dergleichen dreifache Oculare, die den Zweck haben, das verkehrte Bild des Objectivs wieder in die aufrechte Stellung zu bringen, gar viele denken, selbst dann noch, wenn der farbige Rand gehoben werden soll. Ja man kann beide Zwecke mit drei Linsen von willkührlichen Brennweiten erreichen, nur müssen dann ihre Entfernungen von einander so gehalten werden, daß die Bedingung für die Vernichtung der Farbenränder erfüllt wird. Es seyen **A**, **B** und **C** (Taf. XXV. Fig. 2) die drei Oculare des Objectivs, welche planconvex zu machen und in die Ocularröhre so zu stellen sind, wie es die Figur an die Hand gibt. Die beiden Gläser **A** und **B** stehen um die Summe ihrer Brennweiten von einander ab, aber das Bild des Objectivs fällt näher an die Linse **A**, als deren Brennpunkt, so daß die Strahlen aus **A** divergirend heraustreten, so, als kämen sie aus dem Punkte **F'**, welcher von **A** um die Brennweite der Linse **B** absteht. Die Linse **B** sammelt sie wieder in **G** zu einem aufrechten Bilde, welches gerade in den Brennpunkt der Linse **C** fällt, so daß aus derselben die Strahlen, die von einem und demselben Punkte des Objects herkommen, unter sich parallel ausfahren und deutliches Sehen bewirkt wird.

Nennen wir die Brennweiten der drei Linsen p, q und r, wie sie der Reihe nach vom Objective folgen, so sind die Entfernungen, bei welchen der farbige Rand gehoben wird, folgende:

Abstand der ersten und zweiten Linse $= p + q$

Abstand der zweiten und dritten $= q + r + \frac{q^2}{p+q}$

Entfernung der ersten Linse vom
Bilde des Objectivs $\frac{pq}{p+q}$

Brennweite der einfachen Linse, welche mit dem Objective dieselbe Vergrößerung hervorbringt, als das zusamengesetzte Ocular $= \frac{pr}{q}$

Vergrößerung des Rohrs, wenn die Brennweite des Objectivs $= F$ gesetzt wird $\frac{Fq}{pr}$

Entfernung des Auges von der dritten Linse gleich der Brennweite derselben . . r.

Die Oeffnung der ersten Linse ist ihrer halben Brennweite gleich, die der beiden andern $\frac{p}{q}$ der ersten. Man kann auch die Oeffnung aller Linsen gleich machen, nur daß sie nicht größer werden, als die halbe Brennweite.

Die Blende kommt in den Brennpunkt des Objectivs zu stehen und ihre Oeffnung wird etwas kleiner gemacht, als die Oeffnung der ersten Ocularlinse.

Das Gesichtsfeld ist dasselbe, wie das eines einfachen astronomischen Fernrohrs mit der ersten Ocularlinse.

Wird z. B. die Brennweite einer jeden Linse $=$ 1 gesetzt, so findet folgende Einrichtung statt:

Abstand der zweiten Linse von der ersten $= 1 + 1 = 2$
" " dritten " " " zweiten

$$= 1 + 1 + \frac{1}{1+1} = 2\tfrac{1}{2}$$

Entfernung der ersten Linse vom Focus des Objectivs $= \frac{1.1}{1+1} = \frac{1}{2}$

Vergrößerung . . . . . $\frac{F}{1} = F$*)

Brennweite der eben so stark vergrößernden einfachen Linse = 1.

Entfernung des Auges . . . . . 1.

§. 166.

Gewöhnlich nimmt man die Brennweiten der ersten und zweiten Linse einander gleich, $p = q$, die der dritten aber, r, etwas kleiner. Dadurch erhält man folgende Einrichtung des Oculars:

Abstand der beiden ersten Linsen = $2p$,
Abstand der zweiten von der dritten = $r + \frac{3}{2}p$
Entfernung der ersten Linse vom Focus des Objectivs = $\frac{1}{2}p$
Vergrößerung des Oculars = ... $\frac{F}{r}$
Brennweite des gleich stark vergrößernden einfachen Oculars = r
Entfernung des Auges . . . . = r.

Will man daher mit einem gegebenen Objectiv eine gegebene Vergrößerung hervorbringen, so dividirt man mit der Vergrößerungszahl in die Brennweite des Objectivs, um die der dritten Ocularlinse zu finden. Alsdann nimmt man nur die Brennweite der beiden andern Linsen etwas größer. Soll z. B. mit einem Objective von 24 Zoll Brennweite eine 36malige Vergrößerung hervorgebracht werden, so hat man die Brennweite der dritten Ocularlinse $r = \frac{24}{36} =$

*) Die Zahl F drückt hier aus, wie viel mal man die Brennweite der Ocularlinse nehmen muß, um die des Objectivs zu erhalten.

$\frac{2}{3}$ Zoll, und man kann nun die Brennweite der beiden andern Oculare = 1 Zoll annehmen. Dadurch wird der Abstand der zweiten Ocularlinse von der ersten = 2 Zoll, und der Abstand der zweiten und dritten Linse = $\frac{3}{2}$ p + r = $\frac{3}{2}$ + $\frac{2}{3}$ = $\frac{11}{6}$ Zoll.

Mit der Verminderung der Brennweite der dritten Linse, welche auch eine Verengerung der Oeffnung nach sich zieht, findet auch eine Verminderung des Gesichtsfeldes statt, daher Bascovich vorschlägt, statt der dritten Linse zwei Planconvexgläser zu nehmen, welche hart an einander stehen und ihre convexen Seiten dem Objective zukehren. Die Brennweite einer jeden ist nun doppelt so groß, als die der dritten Linse, wodurch der Abgang an der Oeffnung reichlich wieder ersetzt werden kann. Die übrigen Dimensionen des Oculars bleiben ungeändert.

Dieses Ocular leidet übrigens an dem Nachtheile, daß die Kugelabweichung nicht unbeträchtlich ist, woran besonders die mittlere Linse Schuld ist, die gleichsam wie ein Objectivglas wirkt, indem sie von dem Bilde des Objectivs, dessen Strahlen vorher durch die Linse A (Taf. XXV. Fig. 2) etwas modificirt worden sind, ein zweites Bild entwerfen muß. Von diesem Nachtheil ist das nächstfolgende vierfache Ocular frei.

§. 167.

Das vierfache terrestrische Ocular.

Es besteht aus vier planconvexen Linsen von einerlei Glasart, A, B, C, D (Taf. XXV. Fig. 3), die auf ihrer gemeinschaftlichen Axe so aufgestellt sind, wie aus der Zeichnung ersichtlich ist. Das Bild G, welches das Objectiv verursacht, fällt näher an die Linse A, als deren Brennpunkt, und daher divergiren die Strahlen nach dem Austritt aus dem Glase

A so, als ob sie von dem entfernter liegenden Punkte F kämen. Sie werden hierauf von der Linse B aufgefangen und convergirend gemacht, so daß sie sich in einem Bilde vereinigen würden, welches über die Linse C hinaus liegt. Das Glas B ist also gewissermaasen als ein Objectiv anzusehen, für einen Gegenstand, welcher bei F steht. Aber ehe sich die Strahlen nach dem Austritt aus dem Glase B zu einem Bilde vereinigen können, werden sie von der Linse C aufgefangenn und convergenter gemacht, wodurch das Bild noch näher an die Linse B herangezogen wird. Daher wirkt das Glas C gerade so, wie das Collectivglas in dem astronomischen Doppelocular. Das Bild entsteht nun in G, wo gerade der Brennpunkt der Linse D ist, und steht als Bild des verkehrten Bildes E aufrecht. Endlich gehen die Strahlen aus der Linse D parallel heraus und gewähren dem Auge deutliches Sehen.

Die Brennweite sämmtlicher 4 Linsen und ihre Entfernungen von einander müssen nun so gewählt werden, daß der farbige Rand aufgehoben und das möglichst größte Gesichtsfeld erreicht wird, aber hierfür sind die Rechnungsregeln nicht so leicht und nicht so allgemein, wie für die vorigen Oculare, daß sogar die Rechnung noch schwieriger wird, als die Berechnung der Krümmungen eines Doppelobjectivs. Ein Künstler also, der nicht tief in die mathematisch-dioptrischen Untersuchungen eindringen kann, wird sich vorzüglich an die Werke großer Meister zu halten haben, unter welchen Frauenhofer anerkannt den höchsten Rang einnimmt, dessen vierfache Oculare in jeder Hinsicht die englischen hinter sich lassen. Daher finden sich später mehrere Oculare dieses Künstlers für verschiedene Vergrößerungen als Muster aufgeführt.

§. 168.

Littrow hat in seiner Dioptrik für dieses Ocular Formeln entwickelt, welche Resultate liefern, die wenigstens bei stärkern Vergrößerungen den Frauenhoferschen Ocularen sehr nahe kommen.

Ist die Vergrößerungszahl = m, die Brennweite des Objectivs = p, so hat man

Brennweite der ersten Linse $= \frac{15(4m+3)}{32m(m-1)} p$

Brennweite der zweiten Linse $= \frac{25(4m+3)(2m-23)}{6m(m-1)(12m+23)} p$

Brennweite der dritten Linse $= \frac{5(4m+3)(5m+4)(2m-23)}{4m(m-1)(m+20)(12m+23)} p$

Brennweite der vierten Linse $= \frac{5(4m+3)(5m+4)(2m-23)}{m(m+20)(12m+23)(7m+2)} p$

Abstand der ersten Linse vom Objective . $= \frac{4m+3}{4m} p$

Abstand der zweiten Linse v. der ersten . $= \frac{35(4m+3)p}{4m(12m+23)}$.

Abstand der dritten Linse v. der zweiten $= \frac{10(4m+3)(2m-23)}{m(m+20)(12m+23)} p$

Abstand der vierten Linse v. der dritten . $= \frac{15(4m+3)(5m+4)(2m-23)}{2m(m+20)(12+23)(7m+2)} p$.

Diese Formeln stimmen, wie gesagt, nur bei den stärkeren Vergrößerungen mit Frauenhofers Ocularen

überein und weichen bei den schwächern sehr ab, werden selbst unbrauchbar, wenn die Vergrößerung $11\frac{1}{2}$ seyn soll, weil dann der Factor $2m - 23 = 0$ wird und Brennweiten gäbe, die $= 0$ wären.

Nach Addington sollen sich die Brennweiten der 4 Linsen wie Zahlen 3, 4, 4, 3 verhalten und ihre Abstände wie 4, 6, 5. Die Halbmesser der Flächen sind nach folgenden Verhältnissen auszuführen:

Erste Linse	Vorderfläche	27	convex	beinahe planconvex.
	Hinterfläche	1	=	
Zweite Linse	Vorderfläche	9	hohl	Meniscus.
	Hinterfläche	4	convex	
Dritte Linse	Vorderfläche	1	convex	beinahe convexplan.
	Hinterfläche	21	=	
Vierte Linse	Vorderfläche	1	convex	beinahe convexplan.
	Hinterfläche	24	=	

Die Vergrößerung dieses Oculars ist nur wenig unterschieden von der, welche die dritte oder die vierte Linse für sich allein geben würde. Wenn man die Ocularröhre so einrichtet, daß die beiden mittleren Gläser einander näher oder ferner gerückt werden können, so kann man verschiedene Vergrößerungen hervorbringen. So verfertigte Kitchener seine pankratische Ocularröhre, durch welche man mittels bloßen Ausziehens die Vergrößerung bis auf das Vierfache sollte verstärken können.

§. 169.

Hier wollen wir noch einige Oculare Frauenhofers anführen, die aus Herrn Prechtls Dioptrik entlehnt sind und welche in allen Fällen dem Künstler sichere Anleitung geben können.

I.

Ocularweite für ein Objectiv von 48 Zoll Brennweite und 57malige Vergrößerung.

1)	Brennweite der ersten Linse . . .	1.58	Zoll.
2)	Brennweite der zweiten Linse . .	2.38	=
3)	Brennweite der dritten Linse . .	2.65	=
4)	Brennweite der vierten Linse . .	1.50	=
5)	Entfernung der ersten Linse von der zweiten	2.57	=
6)	Entfernung der zweiten Linse von der dritten	4.70	=
7)	Entfernung der dritten Linse von der vierten	2.45	=
8)	Entfernung des ersten Bildes oder des Brennpunktes des Objectivs von der ersten Linse	0.713	=
9)	Entfernung des Augenortes von der vierten Linse	0.886	=
10)	Oeffnung der ersten Linse	0.7	=
11)	Entfernung der Blendung von der ersten Linse	1.29	=
12)	Oeffnung dieser Blendung . . .	0.20	=
13)	Oeffnung der dritten Linse . . .	1.15	=
14)	Oeffnung der vierten Linse . . .	0.7	=
15)	Oeffnung der zweiten Blendung .	0.75	=
16)	Gesichtsfeld	30	Minut.
17)	Entfernung des Oculardeckels von der vierten Linse	0.44	Zoll.
18)	Durchmesser der Ocularöffnung . .	0.26	=
19)	Länge der ganzen Ocularröhre . .	10	Zoll.

Die Oeffnung der zweiten Linse ist bei allen diesen Ocularen jener der ersten gleich zu nehmen, oder nur etwas geringer. Sie dürfte zwar bedeutend geringer (7 mal kleiner als die Oeffnung der

dritten Linse) genommen werden, allein es ist unbequem, zwei Linsen von so verschiedener Größe in eine Röhre zu fassen.

Die zweite Blendung steht am Orte des zweiten Bildes, also im Brennpunkte des letzten Oculars und ihre Oeffnung kann noch kleiner genommen werden, als hier angegeben, wodurch man zwar vom Gesichtsfelde etwas verliert, dagegen aber für die Deutlichheit am Rande wieder gewinnt, was für die Betrachtung terrestrischer Gegenstände sehr wichtig ist. In den Frauenhoferschen Ocularen ist daher auch die Oeffnung der Blendung vor der vierten Linse enger, als hier angegeben, und zwar in dem Verhältnisse, daß sich die wirkliche Oeffnung der dritten Linse zur Oeffnung der Blendung verhält, wie die Entfernung beider Linsen zu der Brennweite der vierten Linse.

II.

Ocular für ein Objectiv von 54 Zoll Brennweite und 60malige Vergrößerung.

1)	Brennweite der ersten Linse . .	1.825	Zoll.
2)	Brennweite der zweiten Linse . .	2.235	=
3)	Brennweite der dritten Linse . .	2.55	=
4)	Brennweite der vierten Linse . .	1.40	=
5)	Entfernung der ersten Linse von der zweiten	2.725	=
6)	Entfernung der zweiten Linse von der dritten	4.188	=
7)	Entfernung der dritten Linse von der vierten	2.151	=
8)	Entfernung des ersten Bildes oder des Brennpunktes des Objectivs von der ersten Linse	0.694	=
9)	Entfernung des Augenortes von der vierten Linse	0.927	=

10) Oeffnung der ersten Linse . . .	0,71	Zoll.
11) Entfernung der Blendung von der ersten Linse	1.97	:
12) Oeffnung derselben	0.196	:
13) Oeffnung der dritten Linse . . .	1.27	:
14) Oeffnung der vierten Linse . . .	0.71	:
15) Größte Oeffnung der Blendung im Brennpunkte der letzten Linse . .	1.07	:
16) Größtes Gesichtsfeld	45	Minut.
17) Entfernung des Oculardeckels von der vierten Linse	0.46	Zoll.
18) Durchmesser der Ocularöffnung .	0.36	:
19) Länge der ganzen Ocularröhre .	9.36	:

Für das wegen der größern Deutlichkeit verengerte Gesichtsfeld ist die Oeffnung der Blendung 0.82 Zoll und das Gesichtsfeld $34\frac{1}{2}$ Minuten.

Dieses Ocular dient auch für 80malige Vergrößerung eines Objectivs von 72 Zoll Brennweite. Das Gesichtsfeld ist in diesem Falle 36.6 Minuten.

III.

Ocular für 60 Zoll Brennweite des Objectivs und 66malige Vergrößerung.

1) Brennweite der ersten Linse . .	1.71	Zoll.
2) Brennweite der zweiten Linse . .	2.09	:
3) Brennweite der dritten Linse . .	2.38	:
4) Brennweite der vierten Linse . .	1.31	:
5) Entfernung der ersten Linse von der zweiten	2.55	:
6) Entfernung der zweiten Linse von der dritten	3.92	:
7) Entfernung der dritten Linse von der vierten	2.01	:

8) Entfernung des ersten Bildes oder des Brennpunktes des Objectivs von der ersten Linse . . . . . . 0.650 Zoll.
9) Entfernung des Augenortes von der vierten Linse . . . . 0.868 =
10) Oeffnung der ersten Linse . . . 0.66 =
11) Entfernung der Blendung von der ersten Linse . . . . 1.85 =
12) Oeffnung derselben . . . . . . 0.184 =
13) Oeffnung der dritten Linse . . . 1.19 =
14) Oeffnung der vierten Linse . . 0.66 =
15) Oeffnung der Blendung im Brennpunkte der letzten Linse . . . 1.00 =
16) Entfernung des Oculardeckels von der vierten Linse . . . . 0.43 =
17) Durchmesser der Ocularöffnung . 0.33 =
18) Länge der ganzen Ocularröhre . 8.78 =
19) Gesichtsfeld . . . . 37.8 Minut.

Für das bis auf 30 Minuten verengerte Gesichtsfeld ist die Oeffnung der Blendung (15) = 0.775 Zoll.

Eben dieses Ocular dient auch für die 50malige Vergrößerung eines Objectivs von 42 Zoll Brennweite. Das größte Gesichtsfeld ist 53.7 Minuten und das verengerte = 41.6 Minuten.

IV.

Ocular für 30 Zoll Brennweite des Objectivs und 42malige Vergrößerung.

1) Brennweite der ersten Linse . . . 1.45 Zoll.
2) Brennweite der zweiten Linse . . . 1.78 =
3) Brennweite der dritten Linse . . 2.02 =
4) Brennweite der vierten Linse . . 1.11 =
5) Entfernung der ersten Linse von der zweiten . . . . 2.16 =

6) Entfernung der zweiten Linse von der dritten	3.32	Zoll
7) Entfernung der dritten Linse von der vierten	1.71	=
8) Entfernung des ersten Bildes oder des Brennpunkts des Objectivs von der ersten Linse	0.551	=
9) Entfernung des Augenorts von der vierten Linse	0.736	=
10) Oeffnung der ersten Linse . .	0.565	=
11) Entfernung der Blendung von der ersten Linse	1.56	=
12) Oeffnung derselben	0.16	=
13) Oeffnung der dritten Linse . .	1.01	=
14) Oeffnung der vierten Linse . .	0.566	=
15) Oeffnung der Blendung im Brennpunkte der letzten Linse . . .	0.85	=
16) Entfernung des Oculardeckels von der vierten Linse	0.36	=
17) Durchmesser der Ocularöffnung .	0.28	=
18) Länge der ganzen Ocularröhre .	7.40	=
19) Gesichtsfeld	$63\frac{1}{2}$	Minuten.

Für die gleichförmigere Deutlichkeit ist das verengerte Gesichtsfeld = 45 Minuten und die Oeffnung der zweiten Blendung = 0.65.

Dieses Ocular dient auch für 28malige Vergrößerung eines Objectivs von 20 Zoll Brennweite. Das größtmögliche Gesichtsfeld ist dann = $94\frac{1}{2}$ Minuten und das verengerte 71 Minuten.

V.

Ocular für 20 Zoll Brennweite und 26malige Vergrößerung.

1) Brennweite der ersten Linse . .	1.56	Zoll
2) Brennweite der zweiten Linse . .	1.91	=

3) Brennweite der dritten Linse . . . 2.18 Zoll
4) Brennweite der vierten Linse . . 1.2 =
5) Entfernung der ersten Linse von der zweiten . . . . 2.33 =
6) Entfernung der zweiten Linse von der dritten . . . . 3.58 =
7) Entfernung der dritten Linse von der vierten . . . . 1.84 =
8) Entfernung des ersten Bildes oder des Brennpunkts des Objectivs von der ersten Linse . . . . 0.594 =
9) Entfernung des Augenortes von der letzten Linse . . . . 0.794 = *)
10) Oeffnung der ersten Linse . . . 0.61 =
11) Entfernung der Blendung von der ersten Linse . . . . 1.69 =
12) Oeffnung derselben . . . . . . 0.168 =
13) Oeffnung der dritten Linse . . . 1.09 =
14) Oeffnung der vierten Linse . . . 0.61 =
15) Oeffnung der Blendung im Brennpunkte der letzten Linse . . . . 0.92 =
16) Entfernung des Oculardeckels von der vierten Linse . . . . 0.39 =
17) Durchmesser der Ocularöffnung . 0.30 =
18) Länge der ganzen Röhre . . . 8.0 =
19) Gesichtsfeld (größtes) . . . . 101.7 Minuten

Die verengerte Oeffnung der zweiten Blendung beträgt 0.7 Zoll und das in eben dem Grade verminderte Gesichtsfeld 76½ Minute.

---

*) Der Augenort ist nichts anderes, als der Punkt der Axe, in dem sich die in die Mitte des Objectivs gehenden Hauptstrahlen hinter der letzten Linse durchschneiden. (Vergl. §. 132.)

VI.

Ocular für 42 Zoll Brennweite des Objectivs und 70malige Vergrößerung.

1)	Brennweite der ersten Linse . .	1.217	Zoll
2)	Brennweite der zweiten Linse . .	1.49	=
3)	Brennweite der dritten Linse . .	1.70	=
4)	Brennweite der vierten Linse . .	0.936	=
5)	Entfernung der ersten Linse von der zweiten	1.81	=
6)	Entfernung der zweiten Linse von der dritten	2.79	=
7)	Entfernung der dritten Linse von der vierten	1.43	=
8)	Entfernung des ersten Bildes oder des Brennpunkts des Objectivs von der ersten Linse	0.463	=
9)	Entfernung des Augenortes von der letzten Linse	0.62	=
10)	Oeffnung der ersten Linse . . .	0.475	=
11)	Entfernung der Blendung von der ersten Linse	1.316	=
12)	Oeffnung derselben	0.13	=
13)	Oeffnung der dritten Linse . .	0.85	=
14)	Oeffnung der vierten Linse . .	0.476	=
15)	Größte Oeffnung der Blendung im Brennpunkte der letzten Linse . .	0.72	=
16)	Entfernung des Oculardeckels von der vierten Linse	0.31	=
17)	Durchmesser der Ocularöffnung .	0.24	=
18)	Länge der ganzen Ocularröhre .	6.34	=

Die wegen der Deutlichkeit am Rande des Gesichtsfeldes verengerte Oeffnung der zweiten Blendung beträgt 0.55 Zoll und das hierfür stattfindende Gesichtsfeld 30 Minuten.

Eben dieses Ocular dient

a) für die 80malige Vergrößerung des Objectivs von 48 Zoll Brennweite:

Gesichtsfeld, größtes = 33.7 Minuten
" verengertes = 25 "

b) für die 90malige Vergrößerung des Objectivs von 54 Zoll Brennweite:

Gesichtsfeld, größtes = 30 Minuten
" verengertes = 23 "

c) für die 120malige Vergrößerung des Objectivs von 72 Zoll Brennweite:

Gesichtsfeld, größtes = 22.5 Minuten
" verengertes = 17.2 "

VII.

Ocular für 16 Zoll Brennweite des Objectivs und 21malige Vergrößerung.

1) Brennweite der ersten Linse . .	1.2	Zoll
2) Brennweite der zweiten Linse . .	1.52	"
3) Brennweite der dritten Linse . .	1.75	"
4) Brennweite der vierten Linse . .	1.20	"
5) Entfernung der ersten Linse von der zweiten	1.65	"
6) Entfernung der zweiten Linse von der dritten	2.80	"
7) Entfernung der dritten Linse von der vierten	1.93	"
8) Entfernung des ersten Bildes oder des Brennpunkts des Objectivs von der ersten Linse	0.473	"
9) Entfernung des Augenortes . .	0.726	"
10) Oeffnung der ersten Linse . . .	0.45	"
11) Entfernung der Blendung von der ersten Linse	1.29	"
12) Oeffnung derselben	0.10	
13) Oeffnung der dritten Linse . . .	0.87	

14) Oeffnung der vierten Linse . . 0.42 Zoll
15) Oeffnung der Blendung im Brennpunkte der letzten Ocularlinse . . 0.69 „
16) Entfernung des Oculardeckels von der vierten Linse . . . . 0.36 „
17) Durchmesser der Ocularöffnung . 0.22 „
18) Länge der ganzen Ocularröhre . 6.7 „
19) Gesichtsfeld . . . . 94 Minuten.

Für das verengerte Gesichtsfeld wird die Oeffnung der letzten Blendung 0.54 Zoll und das Gesichtsfeld selbst 73 Minuten.

VIII.

Ocular für 12 Zoll Brennweite des Objectivs und 15malige Vergrößerung.

1) Brennweite der ersten Linse . . 1.30 Zoll
2) Brennweite der zweiten Linse . . 1.32 „
3) Brennweite der dritten Linse . . 1.37 „
4) Brennweite der vierten Linse . . 1.00 „
5) Entfernung der ersten Linse von der zweiten . . . . . „ . . . . 1.73 „
6) Entfernung der zweiten Linse von der dritten . . . . 2.25 „
7) Entfernung der dritten Linse von der vierten . . . . 1.47 „
8) Entfernung des ersten Bildes oder des Brennpunkts des Objectivs von der ersten Linse . . . . 0.432 „
9) Entfernung des Augenortes von der vierten Linse . . . . 0.58 „
10) Oeffnung der ersten Linse . . . 0.48 „
11) Entfernung der Blendungen von der ersten Linse . . . . 1.45 „
12) Oeffnung derselben . . . . . . 0.076 „
13) Oeffnung der dritten Linse . . . 0.68 „
14) Oeffnung der vierten Linse . . . 0.34 „

15) Oeffnung der Blendung im Brennpunkte der letzten Linse . . . 0.46 Zoll
16) Entfernung des Oculardeckels von der vierten Linse . . . . 0.29 „
17) Durchmesser der Ocularöffnung . 0.17 „
18) Länge der ganzen Ocularröhre . . 5.75 „
19) Gesichtsfeld . . . . 63 Minut.

§. 170.

Die in dem vorigen §. angegebenen Beispiele von Ocularen für gegebene Vergrößerungen und Brennweiten des Objectivs werden wohl für die meisten Bedürfnisse ausreichen, indessen kann man aus ihnen auch neue Einrichtungen der Oculare für andere Vergrößerungen und Brennweiten ableiten. Zuerst nämlich kann man auch die vorigen Oculare für Brennweiten der Objective gebrauchen, die von den angegebenen nicht viel abweichen, wobei sich nur verhältnißmäßig die Vergrößerung ändert. So kann man z. B. das Ocular in VIII auch für ein Objectiv von 8 Zoll Brennweite gebrauchen, da es aber zunächst nur für ein Objectiv von 12 Zoll Brennweite eingerichtet ist, so ändert sich die Vergrößerung im Verhältniß 12 zu 8, oder die Vergrößerung bei 8 Zoll Brennweite beträgt nur $\frac{8}{12} = \frac{2}{3}$ von der bei 12 Zoll Brennweite, daher im erstern Falle die Vergrößerung $\frac{2}{3} \times 15 = 10$ ist, nämlich bei 8 Zoll Brennweite des Objectivs gibt das Ocular VIII 10malige Vergrößerung.

Sollte aber die Vergrößerung 14fach seyn, so müßte man nun noch alle Dimensionen des Oculars im Verhältniß 14 : 10, d. i. 7 : 5 verkleinern, so daß die Brennweiten der vier Linsen 0″.92, 0.94, 0″.98, 0″.71 und ihre Entfernungen 1″.23, 1″.60, 1″.05 betrügen, das Bild aber von der ersten Linse um 0″.31 entfernt wäre. Das Gesichtsfeld beträgt 45 Minuten.

§. 171.

Methoden, die Vergrößerung eines Fernrohrs durch Versuche zu bestimmen.

1) Man theile einen weißen Stab in eine Anzahl gleicher Theile durch schwarze Striche, welche aus einiger Entfernung mit bloßem Auge noch wahrgenommen werden können, und stelle ihn in einer angemessenen Entfernung senkrecht auf. Alsdann betrachte man ihn durch das Fernrohr und zugleich mit dem bloßen andern Auge und merke, wie viel Theile des im Fernrohr gesehenen Stabs der ganzen mit bloßem Auge gesehenen Länge des Stabs gleichkommen, so läßt sich hieraus unmittelbar die Vergrößerung herleiten. Gesetzt, der Stab sey in 60 gleiche Theile getheilt und im Fernrohr erscheinen 3 solche Theile zusammen eben so groß, als der Stab mit bloßem Auge gesehen, so wird das Fernrohr so viel mal vergrößern, als 3 in 60 enthalten ist, d. i. 20 mal.

Mit weniger Mühe ist der Versuch verbunden, wenn man das Fernrohr auf ein nicht allzu entferntes Ziegeldach richtet und Acht gibt, wie viel Ziegeln durch das Fernrohr eben so groß erscheinen, als die mit bloßen Augen betrachtete ganze Reihe, deren Anzahl man mit Hilfe des Fernrohrs leicht zählen kann.

2) Wenn man irgend ein Fernrohr (das holländische ausgenommen) so auszieht, daß man entfernte Gegenstände deutlich sieht, so wird man, wenn man das Objectivglas gegen das Tageslicht richtet, das Auge aber in der Weite des deutlichen Sehens vom letzten Ocular entfernt, auf diesem einen kleinen lichten Kreis erblicken, welcher nichts anderes, als ein Bild des Objectivglases ist, in sofern dasselbe für den Durchgang der Lichtstrahlen offen gelassen. Der Durchmesser dieses Bildes ist aber, wie die Dioptrik zu zeigen vermag, so viel mal kleiner, als die Oeffnung des

Objectivs, als wie viel mal das Fernrohr die Gegenstände vergrößert. Auf diesen Satz hat Adams ein Werkzeug gegründet, welches dient, die Größe des genannten Bildes vom Objectiv zu messen, aus welcher sich dann leicht mittels der bekannten Oeffnung des Objectivs die Vergrößerung des Fernrohrs herleiten läßt.

Dieses Instrument besteht aus 3 kleinen metallenen Röhren (Taf. XXVIII. Fig. 5), die zusammengeschoben $\frac{3}{4}$ Zoll lang sind und 11 Linien im Durchmesser haben. Die erste Röhre a b e n ist in die zweite eingeschoben und hat bei D eine Glaslinse in einiger Entfernung von der Oeffnung C, die zum Hineinsehen bestimmt ist. Die zweite p m o f ist am Ende mit einer durchsichtigen Hornscheibe m o bedeckt, die durch Parallelstriche in Entfernungen von $\frac{1}{100}$ Zoll getheilt ist. Die äußere Röhre g s t r ist an beiden Seiten offen und dient blos, um der Scheibe m o den gehörigen Abstand zu geben, damit sie das Bild der Oeffnung des Objectivs am Fernrohr an der Stelle, wo man sonst das Auge hält, richtig auffange. Auf eben dieser Röhre ist ein Zoll in Zehntel und eines der Zehntel in Hundertel getheilt.

Beim Gebrauch stellt man 1) das Fernrohr so, daß man den Gegenstand deutlich sehen kann, 2) zieht man die Röhre a b e n so weit aus, daß man gegen den Himmel die Parallelstriche auf m o deutlich sieht; 3) man setzt das Instrument an die Ocularröhre und verschiebt die Röhre g s t r so lange, bis man durch C das durch das Fernrohr auf der Hornscheibe dargestellte Bild deutlich sieht; 4) man zählt, wie viel Parallelstriche jenes Bild einnimmt; 5) man mißt den Durchmesser des Objectivglases in Hunderteln eines Zolles (wozu der auf der Röhre g s t r abgetheilte Zoll als Maasstab dienen kann) und dividirt diese Zahl durch

die Zahl von Hunderteln, die das Bild einnimmt. Der Quotient ist die verlangte Vergrößerungszahl.

Dieses Instrument ist auch bei Spiegeltelescopen anwendbar.

§. 172.

Einige practische Vorschriften bei der Ausführung achromatischer Fernröhre.

Der Raum, der diesem Werke bestimmt ist, erlaubt nicht, die Arbeiten zu beschreiben, welche eigentlich nur zur Ausführung des Aeußern eines Fernrohrs gehören, z. B. der Röhren, der Stative u. dgl., und sie können um so füglicher übergangen werden, da jedem, der es unternehmen will, ein achromatisches Fernrohr zu verfertigen, die Bearbeitung der Materiale durch Feilen, Drehen, Löthen u. s. w. schon anders woher bekannt seyn muß, er auch den äußern Bau eines solchen Instruments aus der Betrachtung wirklicher Exemplare besser kennen lernt, als durch irgend eine Beschreibung möglich ist.

Nur einige Verfahrungsarten, welche eigentlich der Bearbeitung der Linsen näher angehen, müssen umständlicher erörtert werden, und hierher gehört fürs Erste die Methode, ein Objectivglas richtig in seine Fassung zu bringen. — Nachdem aber die beiden Linsen des Objectivs richtig centrirt sind, was wir später lehren werden, wenn wir vom Schleifen der Linsen reden, so werden sie in ihre Fassung eingesetzt, und um sie zu befestigen, nietet man bei kleinern Linsen den Fassungsring um, bei größern aber schiebt man in denselben einen Ring ein auf eine Weise, die nachher beschrieben werden soll.

Bei der Zusammenfügung der beiden Objectivlinsen ist nun ein vorzüglich wichtiger Umstand der, daß die Axen beider in eine gerade Linie fallen, denn wenn dieses nicht der Fall wäre, so würde Undeut-

lichkeit der Bilder entstehen, indem ja bei der Berechnung der Krümmungshalbmesser des Doppelobjectivs das Zusammenfallen beider Axen eine Hauptbedingung ist, auch ohne diesen Umstand kein deutliches Bild entstehen kann. Wenn aber die Linsen vorher schon richtig centrirt sind, so hat das Einsetzen derselben in die Fassung, welche aus einem hinlänglich starken, rund ausgedrehten Ringe besteht, in welchem die Linsen auf einem senkrecht gegen die Wand des Ringes stehenden Rande ruhen, keine Schwierigkeit; denn da beide Linsen gleich groß und vollkommen rund abgedreht sind und der innere Durchmesser des Ringes nicht größer seyn darf, als der Durchmesser der Linsen, so können diese auch nicht anders in die Fassung zu liegen kommen, als daß ihre Axen genau in eine gerade Linie fallen. Indessen verdient ganz besonders der Umstand einer nähern Erörterung, daß bei den gewöhnlichen Flint- und Kronglassorten nach der Herschelschen Rechnung der hintere Halbmesser der Kronglaslinse kleiner ausfällt, als der vordere der Flintglaslinse und daß folglich die Mitten beider Linsen sich berühren und gegen einander drücken würden, wenn beide hart auf einander zu liegen kämen. Dadurch würde nun in Folge der zwischen beiden Linsen bleibenden Luftschicht nach optischen Erfahrungen in der Mitte ein farbiger Ring entstehen, welcher der Deutlichkeit schaden würde, und man muß daher dafür Sorge tragen, daß beide Linsen gehörig entfernt gehalten werden, welches nach Frauenhofer's eigener Anleitung auf folgende Weise durch Einschiebung dünner Stanniolblättchen geschieht.

Man legt die beiden Linsen des Objectivs in der früher bestimmten Lage auf einander, bezeichnet dann am Rande desselben drei Punkte, welche ziemlich genau 120° oder den dritten Theil der Peripherie von einander entfernt sind, und bringt an diesen Punkten

drei gleich dicke Stanniolblättchen zwischen die beiden Linsen. Diese Blättchen haben, je nach der Größe des Objectivs, eine Breite von 1 bis 3 Linien, eine Länge von etwa 6 Linien und sind rechtwinklicht geschnitten: es wird jedoch nur der vordere Theil derselben, etwa so weit, als die Breite der Auflage der Objectivfassung beträgt, zwischen die Linsen gleich tief geschoben, und zwar nachdem man diesen Theil auf beiden Seiten etwas weniges mit in Wasser aufgelöstem arabischen Gummi benetzt hat. Man drückt dann an der Stelle, wo das Blättchen eingelegt ist, ziemlich stark auf das Objectiv und schneidet den an dem Rande hervorstehenden Theil mit einem scharfen Messer genau weg. Noch während der Gummi feucht ist, muß das Objectiv in seine Fassung festgeschraubt werden.

Das Objectiv berührt die drei Auflagen seiner Fassung nur an drei Stellen, deren Mitten 120° von einander entfernt sind; der übrige Theil der Auflage ist an der dem Objectiv (der Convexlinse) zugekehrten Seite etwas weniges ausgefeilt, so daß er die Glasfläche nicht berühren kann und das Objectiv nur an den genannten drei Stellen aufliegt. Das Objectiv muß nun so in die Fassung gebracht werden, daß die Stanniolblättchen genau dahin zu stehen kommen, wo die drei Auflagen sich befinden.

In den starken cylindrischen Ring, welcher die Fassung ausmacht, paßt ein zweiter messingener Ring (der Federring), welcher unmittelbar über das in die Fassung eingelegte Objectiv (die Flintglaslinse) zu liegen kommt und in dieser Lage bis an den Rand des Fassungsringes reicht. In diesem Federringe haben drei Schräubchen, welche ebenfalls um 120° von einander entfernt sind und durch den äußern Fassungsring durchgehen, ihre Gewinde, und er ist so weit ausgefeilt, daß er das Objectiv ebenfalls nur an drei

Stellen berührt und zwar da, wo die Blättchen liegen. Diese Stellen des Ringes, welche das Glas berühren, sind unten abgerundet. Die Löcher, welche für die Schräubchen durch den Fassungsring gehen, sind etwas länglich (nach der Richtung der Axe des Objectivs) und haben ihren Ort immer in der Mitte zwischen zwei Plättchen. Man drückt nun an der Stelle, wo ein Schräubchen ist, auf den Federring und schraubt während des Drückens das Schräubchen fest; dasselbe geschieht auch bei andern Schräubchen, so daß das Objectiv mittels des Ringes und des Schräubchens mit demselben Druck in der Fassung festgehalten wird, mit welchem man auf die genannten Stellen gedrückt hat. Damit ein ungleicher Druck an den drei verschiedenen Orten ausgeglichen werde, so wiederholt man diese Arbeit, nachdem schon alle drei Stäbchen fest sind, noch einmal, aber immer mit ungefähr gleichem Drucke. Da sonach die vordere Fläche der Convexlinse an denselben drei Stellen aufliegt, wo mittels der Stanniolblättchen die beiden Linsen sich berühren, und an eben diesen Stellen der Federring auf die äußere Fläche der Flintglaslinse drückt, so kann das Objectiv, bei der nöthigen Vorsicht, nicht schädlich gebogen werden, wie fest es auch in seine Fassung geschraubt werde.

Bei dieser Operation müssen die Stanniolblättchen zwischen den Linsen eine völlig gleiche Dicke haben, denn sonst würde das Objectiv seine Centrirung verlieren, da die Axen der beiden Linsen nicht in dieselbe gerade Linie fallen würden. Die völlig gleiche Dicke dieser Blättchen wird nun durch das Objectiv selbst gemessen. Ein solches Objectiv gibt nämlich, wie schon früher bemerkt, wenn die sich berührenden Flächen ganz rein sind, in der Mitte einen aus farbigen Ringen bestehenden Flecken, der, wenn das Objectiv centrirt ist, auch genau in der Mitte sich befin-

det, wobei natürlich die beiden Flächen am Rande allenthalben einen gleichen Abstand haben. Legt man nun am Rande zwischen die beiden Linsen ein Blättchen, dessen Dicke größer ist, als der genannte Abstand, so wird der farbige Flecken aus der Mitte verrückt, und um so weiter, je dicker das Blättchen ist. Man darf daher nur diese Entfernung bei jedem zwischen die Linsen gelegten Blättchen mit einem Zirkel genau messen, so findet man leicht und sehr genau, welche Blättchen von gleicher Dicke sind. Man muß dabei auf die obere Linse, zwischen dem Blättchen und dem farbigen Flecken, etwas niederdrücken, damit das Blättchen beide Flächen genau berührt. Uebrigens wird nur der vordere Theil des Blättchens zwischen die Linsen gelegt, weil man nur die Dicke dieses Theils zu kennen braucht. Damit dieser gemessene Theil, welcher zum Einschieben zwischen die Linsen des Objectivs bestimmt ist, von dem nicht gemessenen unterschieden werde, schneidet man eine Ecke von demselben ab. Der zu messende Theil des Blätchens wird vor der Messung zwischen zwei ebenen, aber etwas rauhen harten Flächen, z. B. zwischen zwei matten Glasflächen, etwas gerieben, damit die größern Unebenheiten des Stanniols und seine Krümmung sich verlieren. Solche Blättchen von gleicher Dicke können auch im Vorrath verfertigt werden, je für die verschiedenen Objective, die man bearbeitet, von verschiedener absoluter Dicke; doch ist es wegen der möglichen Oxydirung räthlich, sie nicht zu lange aufzubewahren.

Um beschmuzte Gläser vor dem Einsetzen gehörig zu reinigen, werden sie zuerst mit Weingeist und feiner abetragenen Leinwand, nachher mit Kreidewasser und einem in Kreidewasser gewaschenen und getrockneten Leinentuch, welches demnach der Kreide wegen etwas staubt, abgeputzt, wodurch der Schmuz

weggenommen wird, hernach mit einem Haarpinsel abgestaubt. Die Kreide muß zu diesem Behufe vorher gehörig geschlemmt worden seyn.

Bevor man das Objectiv in seiner Fassung befestigt, muß man erst die vortheilhafteste Lage beider Linsen auf einander untersuchen, weil der Fall möglich seyn kann, daß die Linsen in einer gewissen Lage ein deutlicheres Bild erzeugen, als in jeder andern. Der Grund hiervon ist in den kleinen Unregelmäßigkeiten, sowohl in der Figur der Gläser, als auch in der verschiedenen Dichtigkeit ihrer Massen zu suchen. Man setzt daher beide Linsen vorläufig in ihre Fassung und diese in das Rohr mit dem Ocular, betrachtet dadurch einen entlegenen Gegenstand und dreht nach jeder Beobachtung die Converlinse um ihre Axe etwas herum, indem man an dem Rande derselben jedesmal ein Zeichen macht und diejenige Stellung bemerkt, in welcher die Gegenstände am deutlichsten und mit der schärfsten Begrenzung erscheinen. Diese Stellung der beiden Linsen gegen einander behält man bei der letzten Einsetzung derselben in die Fassung bei.

Bei dieser Gelegenheit kann man zugleich auch den Grad der Vollkommenheit des Objectivs prüfen, wozu schon früher in dem §. 148 die nöthige Anleitung gegeben ist. Um das Objectiv im Bezug auf Abweichung wegen der Kugelgestalt zu prüfen, gibt man ihm eine Bedeckung mit einem Kreise von schwarzem Papier, der in der Mitte bis etwa den sechsten Theil des Durchmessers des Objectivs ausgeschnitten ist und bemerkt die Stellung des Oculars, bei welcher ein Gegenstand am deutlichsten gesehen wird. Hierauf nimmt man diese Bedeckung weg und legt eine andere auf, welche den mittlern Theil des Objectivs zu etwa $\frac{5}{8}$ seines Durchmessers bedeckt, dagegen den Rand frei läßt. Ist die sphärische Abweichung aufgehoben, so muß der Gegenstand eben so

deutlich begrenzt erscheinen, als vorher, ohne daß das Ocular verrückt wird. Ist jedoch noch etwas von dieser Abweichung vorhanden, so muß das Ocular hineingeschoben oder herausgezogen werden, je nachdem die Abweichung der Kronglaslinse durch die Flintglaslinse zu schwach oder zu stark compensirt ist. Es ist daher immer ein Zeichen der möglichst aufgehobenen Abweichung, wenn das Ocular, welches bei der vollen Deutlichkeit des Bildes eine gewisse Stellung hat, nicht viel aus dieser Stellung verrückt werden darf, ohne daß zugleich Undeutlichkeit des Bildes eintrete.

§. 173.

Zur Centrirung des Rohrs hat Prechtl folgende Anleitung gegeben: Das Fernrohr erhält seine Vollendung, wenn an dem einen Ende des Rohrs die Einsetzung der Fassung mit dem Objectiv, und an dem andern die Einsetzung des Oculars in der Art vollbracht ist, daß die Axe des Rohrs durch den Mittelpunkt des Oculars und durch den Mittelpunkt der Objectivlinsen geht, oder wenn die Axe des Objectivs mit der Axe des Oculars zusammenfällt. Diese Lage des Objectivs gegen das Ocular ist, zumal bei größern Instrumenten und bedeutenden Vergrößerungen, wesentlich nothwendig, weil sonst die Deutlichkeit des Bildes sehr viel verliert, indem bei allen bisher aufgeführten Bedingnissen und Regeln für den richtigen Weg der Strahlen in dem Fernrohr immer der Parallelismus des Oculars und des Objectivs vorausgesetzt worden ist und bei der Vernachlässigung desselben eine schädliche Abweichung und Verlust des Lichts erfolgt. Es muß daher auf diese letzte Centrirung gleichfalls die nöthige Sorgfalt verwendet werden.

Für kleinere Fernröhre und Zugfernröhre geschieht diese Centrirung auf der Drehbank. Denn wenn mit der Genauigkeit, welche eine gute Supportdrehbank zu gewähren im Stand ist, die Kanten der Röhren, der Ansätze und die Auflagen (wie dieses auch bei den Oculareinsätzen geschieht) senkrecht auf die Axen abgedreht werden, so werden auch der Oculareinsatz und die Objectivfassung die richtige Stellung erhalten; und diese Arbeit kann auf diese Art so genau gerichtet werden, als auf irgend eine mögliche Weise. Ganz kleine Abweichungen kommen bei den minder bedeutenden Vergrößerungen, die hier stattfinden, auch weniger in Betracht; und da im Besondern bei dem Zugfernrohre nach dem Ausziehen des Rohrs ein Biegen desselben vorhanden ist, so gibt man für gleiche Oeffnung diesen Röhren ohnehin auch eine geringere Vergrößerung, als den Fernröhren mit dem festen Rohre.

Bei größeren Röhren und Objectiven muß die Centrirung so vollkommen als möglich hergestellt werden. Das Ocular wird in die Mitte des einen Rohrendes eingesetzt, so daß der Mittelpunkt der Ocularöffnung möglichst genau in der Axe des Rohrs liegt; das Zugrohr, mit welchem mittels eines Getriebes das Ocular hin- und hergeschoben werden kann (wenn das Rohr nicht blos für himmlische Gegenstände bestimmt ist) muß sich gedrängt bewegen, damit kein Schlottern möglich werde. Eben so wird die Objectivfassung, so viel möglich, senkrecht auf die Axe eingeschraubt.

Die letzte Correction in der Centrirung des Rohrs wird nun auf folgende Weise bewerkstelligt.

In Fig. 2 (Taf. **XXIX.**) sey **ABC** das Rohr, **AB** das Objectiv und **C** der Oculareinsatz, in dessen Deckel sich die Ocularöffnung **O** befindet. **x b** ist nun die Axe des Fernrohrs und bei der gehörig richtigen

Einsetzung des Objectivs zugleich die Axe des Objectivs und des Oculareinsatzes. Wenn man mit einem andern Fernrohre f, welches vor dem Oculare mit einem Fadenkreuze versehen ist, durch das Objectiv AB sieht, so kann man die Ocularöffnung O erblicken, wenn das kleine Fernrohr die in f angezeigte Lage hat; und man kann dieses Fernrohr so richten, daß der Durchschnitt des Fadenkreuzes genau in die Mitte der Ocularöffnung O falle.

Bringt man nun das kleine Fernrohr in die Lage f', so daß der Winkel, welchen seine Axe mit der Linie bx macht, dem Winkel gleich ist, welchen das Fernrohr in der ersten Lage f mit derselben Linie gemacht hat, so wird man durch das Fernrohr in dieser zweiten Lage, eben so wie in der ersten, den Durchschnittspunkt des Fadenkreuzes in der Mitte der Ocularöffnung erblicken, wenn nach der angenommenen Voraussetzung bx die gemeinschaftliche Axe des Objectivs und des Oculars ist. Gesetzt aber, die Axe der Vorderfläche AaB, folglich des Objectivs, sey nicht bx, sondern falle etwas seitwärts, so wird man durch das Fernrohr in der zweiten Lage f' nicht mehr die Ocularöffnung oder das Fadenkreuz in ihrer Mitte erblicken, weil dann der Winkel nbm nicht mehr dem Winkel abn gleich ist.

Zur Ausführung dieser Operation richtet man ein kleines, in Fig. 1 (Taf. XXX.) dargestelltes, etwa 6 Zoll langes Fernrohr her, das ein einfaches oder doppeltes Ocular (letzteres nach §. 164) haben kann, und das in y mit einem Kreuzfaden (aus Spinnweben) versehen ist. Dieses Fernrohr ist um den Zapfen a in der Vertikalebene, um das Charnier b in einer auf dieser senkrechten Vertikalebene und um den Zapfen c in der Horizontalebene beweglich, so daß es in jeder beliebigen Richtung festgestellt werden kann. Vermittelst dreier Stützen d ist es auf

dem hufeisenförmigen Fuße Fig. 2, in welchem drei stählerne Spitzen efg, welche unten abgerundet und polirt, eingeschraubt sind, durch Schraubenmuttern befestigt. Zwei dieser Stifte, e und f, stehen etwa um 120° des Kreises, von welchem dieser Fuß ein Ausschnitt ist, von einander entfernt, der dritte g steht etwas näher bei f.

Soll nun das Rohr centrirt werden, so hält man das eben beschriebene kleine Fernrohr mit den drei Spitzen auf die Vorderfläche des Objectivs, so daß die beiden Spitzen e und f, welche am weitesten von einander entfernt stehen, an die Auflage des Objectivs (welche, wie schon früher bemerkt, auf der Drehbank mit dem Supporte vollkommen rund ausgedreht ist), und richtet nun das kleine Fernrohr so, daß man die Ocularöffnung des zu centrirenden Fernrohrs erblickt und das Fadenkreuz genau die Mitte derselben durchschneidet. Nachdem man sich hiervon versichert hat, setzt man die drei Spitzen auf die vorige Art an eine andere Stelle des Glases, ohne das kleine Fernrohr selbst aus seiner Lage zu bringen und sieht nun wieder durch dasselbe. Steht das Fadenkreuz eben so genau, wie vorher, in der Mitte der Oeffnung, so hat das Objectiv seine richtige Lage. Ist dieses aber nicht der Fall, so bemerkt man an der Fassung den Punkt, an welchem das Objectiv etwas gehoben oder gesenkt werden muß, damit durch das kleine Fernrohr das Fadenkreuz die Mitte der Ocularöffnung durchschneide. Nachdem man diese Adjustirung der Lage des Objectivs verrichtet hat, wiederholt man die Untersuchung mit dem kleinen Fernrohre wie vorher, bis dasselbe an zwei oder drei Stellen des Objectivs dieselbe genaue Lage des Durchschnitts des Fadenkreuzes in der Mitte der Ocularöffnung anzeigt, wornach die Centrirung als vollkommen hergestellt angesehen werden kann.

Das beschriebene kleine Fernrohr kann für Objective von jeder Größe gebraucht werden; nur ist es für bedeutend größere oder kleinere Objective nothwendig, einen größern oder kleinern mit drei Stiften versehenen Fuß an die Träger d anzuschrauben, damit der Stift g nicht zu nahe an dem Rande bleibe, sondern wenigstens um die Hälfte des Halbmessers gegen den Mittelpunkt des Objectivs hineintrete. Das kleine Fernrohr kann man übrigens auch so einrichten, daß es in dem Mittelpunkte zweier beweglichen Ringe, deren Bewegungsebenen senkrecht auf einander sind, befestigt ist, nach der Aufhängungsart des Seecompasses, und unten mit einer Stellschraube, die einer an das Fernrohr drückenden Feder entgegenwirkt, festgehalten wird. Der Fuß mit den Stiften ist dann kreisförmig und concentrisch für das Gesichtsfeld des kleinen Rohrs ausgeschnitten. Diese Einrichtung ist bei dem Gebrauche bequemer, weil sich das Rohr mittelst derselben leichter genau richten läßt; sie ist jedoch etwas complicirter.

Um nun das Objectiv nach den Angaben dieses Instruments mit Genauigkeit richten zu können, damit sonach seine Axe mit der Axe des Oculars zusammenfalle, so ist der vordere Theil des Rohrs, in welchen die Objectivfassung eingeschraubt ist, mit dem in Fig. 3 (Taf. XXX.) dargestellten Ansatze versehen.

A ist das Rohr, an dessen Ende der Ring ab, dessen äußere Peripherie mit einem ein wenig vorstehenden Rande versehen, mit Schrauben befestigt ist. Auf diesen Ring paßt der Ring cd, der in B im Grundrisse zu sehen ist. Der Rand dieses Ringes ist mit einem Schraubengewinde versehen, in welches die Objectivfassung eingeschraubt wird. Auf diesem Ringe sind in Entfernungen von 120° die drei Stellschrauben nnn und die drei Ziehschrauben mmm

eingelassen; durch die letztern wird der Ring an den Ansatz a b angeschraubt und durch das Anziehen der erstern kann er, nach angemessener Lüftung einer oder der andern Ziehschraube, von demselben auf die gewöhnliche Weise an einer beliebigen Stelle entfernt werden, so daß dem Ringe c d mit der Objectivfassung dadurch jede Lage auf das genaueste gegeben werden kann.

Die Centrirung des Rohrs kann auf diese beschriebene Weise mit jedem Tubus (mit festem Rohre) bis auf 24 Linien Oeffnung vorgenommen werden.

§. 174.

Das **Fadenkreuz** besteht aus zwei einander sich senkrecht durchkreuzenden feinen Fäden, durch deren Durchschnittspunkt genau der Mittelpunkt des Gesichtsfeldes bezeichnet wird. Diese Fäden, welche ungemein fein seyn müssen, da sie durch die Ocularlinse beträchtlich vergrößert werden, sind auf einem Ringe (Taf. XXX. Fig. 4) ausgespannt, welcher in die Ocularröhre in den Brennpunkt des letzten Oculars, oder bestimmter an den Ort des letzten wirklichen Bildes geschoben wird. Die Fäden sind in der Regel Spinnefäden, oft aber auch metallene, welche man von ungemeiner Feinheit dadurch erhält, daß man einen noch nicht sehr dünn gezogenen Silberstab seiner Länge nach so durchbohrt, daß die Oeffnung ein genaues Zehntel von der Dicke des Stäbchens ausmacht. Diese Oeffnung gießt man mit Gold aus und zieht hiernach das Ganze zu einem sehr dünnen Drahte, wodurch begreiflicher Weise das Gold in einen noch dünnern Draht ausgedehnt wird, und wenn der Silberfaden $\frac{1}{500}$ eines Zolles dick ist, so wird der Goldfaden nur $\frac{1}{5000}$ von der Dicke eines Zolles haben. Um ihn vom Silber zu befreien, legt man ihn

einige Minuten in Salpetersäure, welche das Gold unangetastet läßt. Wollaston behauptet, auf ähnliche Weise aus Platina Drähte aus $\frac{1}{18000}$ Zoll Dicke erhalten zu haben, welche mit bloßem Auge gar nicht mehr sichtbar sind, aber doch ein Gewicht von $1\frac{1}{3}$ Gran zu tragen vermögen.

Bessel gibt zur Ausspannung des Fadenkreuzes aus Spinnefäden folgende Anleitung: Man nimmt den Ring, an welchem die Fäden ausgespannt werden sollen, aus der Ocularröhre heraus und zieht auf seiner Peripherie die Linien, die durch den Mittelpunkt gehen und auf einander senkrecht sind. Sollen mehrere Parallelfäden eingezogen werden, so dienen dazu die übrigen in der Figur angezeigten Linien. Man feilt dann den Grat ab und schleift da, wo in der Zeichnung die Schattirungen sind, etwas Metall ab. Dann sucht man ein Spinnennest (in den Monaten am Ende des Winters findet man diese häufig an dunkeln, mit der freien Luft in Verbindung stehenden Orten), zieht einen Faden heraus und fährt einige Male mit dem Daumen und Zeigefinger daran herab, um ihn vom Staube zu befreien; am besten, indem man ihn mit einer Zirkelspitze, woran sich etwas Klebwachs befindet, festhält und das Nest herabhängen läßt. Man spannt dann einen Theil des Fadens zwischen beiden Zirkelspitzen aus, indem man eine zureichende Länge des Fadens zwischen ihnen mit Klebwachs befestigt, und indem man so den nur mäßig angespannten reinen Faden zwischen den Zirkelspitzen hält, behaucht man ihn, um ihn noch etwas stärker anzuspannen. Dann legt man den Ring, worin er eingespannt werden soll, auf einen Tisch, auf welchem ein Blatt schwarzes Papier befindlich ist und legt den Zirkel so darüber weg, daß der Faden einer darauf gezeichneten Linie entspricht. Ist er schon stark genug gespannt, so kann man ihn sogleich festkleben, und

dieses geschieht am besten dadurch, daß man ein nicht scharfes eisernes Instrument, z. B. einen Schraubenzieher mit hölzernem Heft, im Licht erhitzt, dann etwas Wachs an die Spitze bringt und dann wieder so stark erhitzt, bis dieses anfängt zu verdampfen; dadurch wird das Wachs im höchsten Grade flüssig und man kann hiermit den Faden sehr gut befestigen; daß der Schraubenzieher nicht an der Spitze ins Licht kommen muß und nicht beräuchert seyn darf, versteht sich von selbst. Ist der Faden noch nicht gespannt genug gewesen, so reißt man ihn, nachdem nur das eine Ende angeklebt worden, von der andern Zirkelspitze los und spannt ihn, ehe man die zweite Befestigung anbringt, mit der Hand stärker (dies kann dadurch geschehen, daß man den Ring so sehr belastet, daß der Faden nur noch kaum stark genug ist, ihn fortzuziehen, und indem man dann durch dieses Fortziehen den Faden völlig spannt), worauf dann die Befestigung wie vorhin erfolgt. Um sich zu überzeugen, ob der Faden gut gespannt ist, thut man wohl, ihn nach der Befestigung zu behauchen und schnell mit einer Loupe zu besehen, um gewahr zu werden, ob er selbst in feuchtem Zustande hinreichend gespannt bleibt. Wenn alle Fäden eingezogen sind, kann man auf die Rinnen, in welchen sie liegen, kleine Punkte von Lackfirniß machen, nach dessen Austrocknen das Wachs, wenn es im Wege seyn sollte, weggenommen werden kann. Die zu dieser Arbeit nöthige Uebung erwirbt man sich leicht, wenn gleich der erste Versuch die Geduld wohl oft sehr ermüdet.

Von den Spiegeltelescopen.

§. 175.

Das Newtonsche Spiegeltelescop.

Der wesentliche Unterschied zwischen den Spiegeltelescopen und dioptrischen Fernröhren (Reflectoren und Refractoren) besteht darin, daß an die Stelle des Objectivglases ein Hohlspiegel tritt, oder daß das Bild durch Reflexion von einem Hohlspiegel entsteht. Newton war zwar nicht der Erfinder dieses Gedankens, aber doch der erste, der auf die großen Vortheile der Spiegel vor dem Linsenglase aufmerksam machte und ein wirkliches Spiegeltelescop zu Stande brachte. Er glaubte nämlich aus seinen Versuchen schließen zu müssen, daß sich auf keine Weise die Farbenzerstreuung der Linsengläser, selbst nicht einmal durch Verbindung von zweierlei Glassorten aufheben lasse, und gab daher die dioptrischen Fernröhre als unheilbar krank gänzlich auf. Das durch Hohlspiegel erzeugte Bild aber ist ganz frei von aller Farbenzerstreuung und auch die Abweichung wegen der Kugelgestalt ist weit geringer, als die bei Linsengläsern, also daß zu hoffen war, man werde mittels eines Spiegels bei geringer Länge des Rohrs doch einen bessern Effect zu Wege bringen können, als durch ein dioptrisches Fernrohr von weit größerer Länge. Und die Wirklichkeit entsprach der Erwartung ganz und gar.

Nach Newtons Vorschlag ist das Spiegeltelescop folgendermaasen eingerichtet: ABCD (Taf. XXIX. Fig. 3) ist eine hinlänglich starke, innen geschwärzte Röhre von Holz oder Blech, deren nach dem Gegenstande zugekehrtes Ende offen ist. Am entgegengesetz-

ten Ende befindet sich ein Hohlspiegel SS von einer langen Brennweite, welcher das Objectivglas des dioptrischen Fernrohrs vertritt und die von dem Objecte MN kommenden Strahlen nach F reflectirt, woselbst ein Bild von MN entstehen müßte. Aber ehe die Strahlen in F sich vereinigen, werden sie von dem kleinen ebenen Spiegel E, der gegen die Axe des Rohrs unter einem Winkel von 45 Graden geneigt ist, aufgefangen und nach der Seite reflectirt, so daß nun das Bild von MN bei mn sich befindet. Dieses Bild wird durch das Augenglas O betrachtet und somit ist dieses Spiegeltelescop ganz ähnlich dem astronomischen Fernrohr, und es wird daher auch der Sehwinkel so viel Mal vergrößert werden, als die Brennweite des Augenglases in der des Spiegels enthalten ist.

§. 176.

Der Spiegel E ist an einem eisernen Arme befestigt, welcher in die Wand der Röhre geht. Er verdeckt einen Theil des großen Spiegels SS und zwar den mittelsten und besten, ein Fehler, der allen optischen Instrumenten, bei welchen das Bild durch einen Hohlspiegel erzeugt wird, gemein ist. Er muß ein metallener seyn, damit die doppelten Bilder der gläsernen keinen störenden Einfluß auf das deutliche Sehen äußern, weil aber die metallenen Spiegel viel Licht verschlucken, so rieth Newton gleich anfangs, den kleinen ebenen Spiegel E durch ein gleichschenklig rechtwinkliges Prisma zu ersetzen, dessen Hypotenusenfläche gegen die Axe unter einem Winkel von 45° geneigt ist; hierbei findet kein Lichtverlust weiter statt, als der bei den Spiegelungen beim Ein- und Austritt in das Prisma, denn die Hypotenusenfläche wirft die Strahlen zurück, ohne etliche von ihnen zu

verschlucken (§. 63). Der Lichtverlust bei den Brechungen an zwei Flächen ist aber weit geringer, als der Verlust bei der Spiegelung an einer metallenen Fläche. Es ist indessen schwer, eine völlig homogene, d. h. überall gleich dichte Glasmasse zu erhalten, aus der sich ein so großes Prisma, als hier erforderlich wird, schleifen ließe, und darum gebrauchte man in der Folge lieber einen ebenen Metallspiegel.

§. 177.

Wegen eben dieses Lichtverlustes bei Metallspiegeln schlug Newton auch vor, den Hohlspiegel SS aus Glas zu verfertigen, in der Meinung, daß gläserne Spiegel weniger Licht verschlucken, oder doch wenigstens nicht so leicht dem Verderben unterworfen sind. Eine dicke Glasplatte sollte der Brennweite des Spiegels gemäß auf der einen Seite hohl, auf der andern nach eben der Krümmung convex geschliffen seyn (wie ein Uhrglas), und die convexe Seite mit Folie belegt werden. In der That sind auch auf solche Weise mehrere Spiegeltelescope ausgeführt worden, allein man fand bald, daß die gläsernen Spiegel wegen der doppelten Bilder den metallenen weit nachstanden.

Die doppelten Bilder des gläsernen Hohlspiegels werden hauptsächlich aus dem Grunde nachtheilig, weil das falsche, von der Vorderfläche reflectirte Bild dem Hauptbilde so nahe liegt, indem es nur um die Dicke des Glases von ihm absteht. Hierdurch geschieht es, daß, wo nicht beide Bilder zugleich durch die Oculare erblickt werden, doch die Strahlen beider mit voller Intensität durch die Oculare gehen und so einander gegenseitig schwächen. Diesem Uebelstande könnte man vorbeugen, wenn man statt des Hohlspiegels ein planconvexes Glas auf der erhabenen Seite

foliirte und hart vor dasselbe eine gleichseitige Concavlinse setzte, die eben die Brennweite hat, als die Planconvexlinse (Taf. XXVIII. Fig. 6). Diese Verbindung wirkt eben so, als der Hohlspiegel, den die belegte Fläche für sich abgeben würde, und gibt ganz farblose Bilder, weil die Brechung, welche die Strahlen in der Planconvexlinse beim Ein- und Rücktritt erleiden, durch die Brechung der Concavlinse wieder aufgehoben wird. Zu diesem Behufe müßten beide Linsen aus derselben Glasart, am besten aus Spiegelglas bestehen.

Die Vorderfläche der Concavlinse gibt nun zwar auch ein falsches Bild, aber dieses steht vom Hauptbilde eben so weit ab, als das letztere vom Spiegel. Daher geschieht es, daß schon der größte Theil von den Strahlen des Nebenbildes vor dem kleinen Spiegel vorbeigehen und daß noch weit weniger auf die noch viel kleinere Fläche des Oculars fällt, ja man kann leicht die Einrichtung ohne Nachtheil so treffen, daß die inneren Strahlen des Nebenbildes vor dem Oculare vorbeigehen, sowohl von Punkten in als außer der Axe, da doch die Mitte der spiegelnden Fläche vom kleinen Spiegel bedeckt wird und daher auch dieser Theil keine Strahlen reflectirt. — Die Spiegelungen von den übrigen Flächen sind noch weit weniger zu fürchten, da die Strahlen zerstreut werden und nicht einmal auf den kleinen Spiegel gelangen können.

Die hier vorgeschlagene Verbindung einer belegten Planconvexlinse mit einem Hohlglas ist zwar nicht frei von der Kugelabweichung, allein dieser Fehler gereicht ihr eher znm Vortheil, als zum Nachtheil, wiewohl man auch dem Hohlglase solche Krümmungen geben könnte, daß die sphärische Aberration ganz wegfiele, ohne die schädliche Wirkung der doppelten Bilder fürchten zu müssen. Die Abweichung für den

Fall, daß die Hohllinse gleichseitig ist, ist noch um ein Merkliches geringer, als die bei einem sphärischen Hohlspiegel von gleicher Brennweite und liegt nicht, wie bei letzterem, vom Brennpunkte der Centralstrahlen nach dem Spiegel zu, sondern in der entgegengesetzten Richtung; sie ist daher der Abweichung der Oculare entgegengesetzt und wird durch dieselben entweder ganz gehoben, oder, wenn man sich nicht so viele Mühe geben will, so verschluckt, daß nur ein Theil der Ocularabweichung übrig bleibt, die, wie wir aus §. 138 wissen, von keinem Nachtheil ist. Deshalb verträgt unser zusammengesetzter Glasspiegel auch eine sehr große Oeffnung, die man wohl bis über 4 Zoll bei 12 Zoll Brennweite des Spiegels treiben darf.

Gegen diese vortrefflichen Eigenschaften unseres Glasspiegels läßt sich nun freilich auch ein Mangel desselben stellen, wenn wir seine Lichtstärke mit der anderer Vorrichtungen vergleichen. Denn neben dem Lichtverlust an der letzten Fläche, dem eigentlichen Spiegel, kommt noch der Verlust bei dem Durchgange des Lichts durch die Glasmassen in Frage, der doch, da die Strahlen 6 mal gebrochen werden, von Erheblichkeit seyn kann. Daher werden wir wohl am wenigsten einen Vergleich aushalten können mit den achromatischen Objectiven, die jetzt in so großer Vollkommenheit verfertigt werden. — Andererseits könnte freilich der Mangel an Licht durch die Größe der Oeffnung wieder beikommen.

Da man nun doch einmal die gläsernen Spiegel, wie Newton sie vorgeschlagen hatte, wegen der doppelten Bilder nicht in Anwendung bringen konnte, so suchte man die Metallmischungen, aus welchen man die Spiegel schleifen wollte, zu vervollkommnen. Ein Hauptübelstand blieb jedoch immer der, daß, wenn auch die Spiegel noch so gut polirt waren, sie doch

gar zu bald an der Luft wieder anliefen und unbrauchbar wurden. Man hat zur Verhütung dieses Uebelstandes das Platina vorgeschlagen, die mit etwas Eisen und Gold zu legiren sey, wodurch freilich die schon an sich theuern Spiegeltelescope noch theurer werden mußten.

Nachdem die achromatischen Fernröhre erfunden und späterhin auf einen so hohen Grad der Vollendung gebracht worden waren, ist man von dem Gebrauche der Spiegeltelescope bei gewöhnlicheren Zwekken ganz abgekommen, da die dioptrischen Fernröhre bequemer im Gebrauch und dauerhafter sind, abgesehen davon, daß sie die Gegenstände weit klarer darstellen, als Spiegeltelescope. Nur das Newtonsche Spiegeltelescop wird noch dann und wann in großem Maasstabe ausgeführt, um es auf die lichtschwächsten Gegenstände des Himmels anzuwenden.

§. 178.

Wenn der große Spiegel **kugelförmig** ausgehöhlt ist, so muß seine Breite, d. h. seine Oeffnung, allerdings beschränkt werden, damit die Wirkung der Kugelabweichung nicht zu groß werde. Hadley hatte z. B. ein Spiegeltelescop verfertigt, bei welchem die Brennweite des großen Spiegels 62 Zoll, die des Augenglases aber 0,3 Zoll betrug, die Vergrößerung war demnach $= \frac{62}{0,3} = 207$fach. Die Oeffnung des großen Spiegels betrug 5 Zoll. Nach diesem und andern Mustertelescopen hatte man sonst Tabellen berechnet, aus welchen zu ersehen ist, wie groß man bei einer gegebenen Brennweite des großen Spiegels dessen Oeffnung nehmen und wie weit man höchstens die Vergrößerung treiben darf. Eine solche Tabelle ist z. B. folgende:

Brennweite des großen Spiegels.	Brennweite des Oculars.	Oeffnung des Spiegels.	Vergrößerung.
Fuß.	Zoll.	Zoll.	
½	0,167	0,864	36 mal
1	0,199	1,440	60 =
2	0,236	2,448	102 =
3	0,261	3,312	138 =
4	0,281	4,104	171 =
5	0,297	4,848	202 =
6	0,311	5,568	232 =
7	0,323	6,240	260 =
8	0,334	6,888	287 =
9	0,344	7,536	314 =
10	0,353	8,160	340 =
12	0,367	9,360	390 =
15	0,391	11,040	460 =
17	0,403	12,143	506 =

Allein diese Rechnungen sind durch die Geschicklichkeit der Künstler heut zu Tage unnütz geworden, da sie den Spiegeln eine parabolische Krümmung zu geben wissen, bei welcher nach §. 50 bei Strahlen, die mit der Axe parallel gehen, gar keine, bei Strahlen aber, die unter einem gewissen Winkel gegen die Axe geneigt sind, eine nur sehr unbedeutende Abweichung stattfindet. Hiernach kann die Rechnung auch keine Vorschriften geben, da es lediglich von der Geschicklichkeit des Künstlers abhängt, wie vollkommen er den Hohlspiegel ausarbeitet und wie groß darnach seine Oeffnung und die Brennweite des Augenglases genommen werden darf.

Demzufolge bleibt für die Rechnung nichts mehr übrig, als die Bestimmung der Größe des kleinen Spiegels und seiner Figur. Dieser ist eine Ellipse und muß so groß genommen werden, daß er da, wo er steht, den Strahlenkegel SSF auffängt, dessen Grundfläche der Spiegel ist und welcher von den mit der Axe parallel einfallenden und nach dem Brennpunkte F des Spiegels reflectirten Strahlen gebildet wird. Hieraus bestimmt sich der größte Durchmesser des kleinen Spiegels auf folgende Weise: Man zeichne ein gleichschenkliches Dreieck ABC (Taf. XXIX. Fig. 4), dessen Grundlinie AB dem Durchmesser des großen Spiegels, dessen Höhe DC aber seiner Brennweite gleich ist, und schneide von CD das Stück CE ab, welches den Theil der Axe angibt, der auf die Seite reflectirt wird und der sich aus der Dicke der Röhre bestimmt. Durch E ziehe man die pq so, daß der Winkel pED = 45° wird, so ist pq der große Durchmesser des kleinen Spiegels und E der Punkt desselben, welcher in die Axe kommen muß. Der kleine Durchmesser kann durch die Linie mn vorgestellt werden, welche man durch q senkrecht auf CD setzt. Es versteht sich, daß diese Zeichnung nach einem verjüngten Maasstab ausgeführt werden muß. Uebrigens muß man den kleinen Spiegel noch etwas weniges größer machen, als ihn diese Zeichnung angibt.

Eine kleine Unbequemlichkeit des Newtonschen Spiegeltelescops ist der Umstand, daß man von der Seite in dasselbe hineinsehen muß, daher bei starken Vergrößerungen, womit immer ein kleines Gesichtsfeld verbunden ist, auf der Röhre noch ein kleines dioptrisches Fernrohr T, das wenig vergrößert und ein großes Gesichtsfeld hat, angebracht wird. Die Axe dieses s. g. Suchers geht parallel mit der Axe des Telescops und nun sucht man erst den Gegenstand

durch das kleine Fernrohr und betrachtet ihn nachher durch das große.

§. 179.

Der Lichtmangel der Spiegeltelescope wird hauptsächlich dadurch in so hohem Grade vermehrt, daß das Bild zweimal reflectirt werden muß. Denn gesetzt, der große Spiegel verschlucke, wie das in der That der Fall ist, $\frac{1}{3}$ des auffallenden Lichtes, so bleiben nach der Reflexion noch $\frac{2}{3}$ desselben. Von diesen $\frac{2}{3}$ verschluckt aber der kleine Spiegel wiederum $\frac{1}{3}$ und es bleiben daher im Ganzen nur noch $\frac{4}{9}$ des auffallenden Lichts, also noch weniger als die Hälfte desselben. Man muß aber bei Spiegeln, welche schon einige Zeit im Gebrauche gewesen sind, den Lichtverlust noch größer ansetzen.

Diesem Uebelstande sucht Brewster einigermaassen dadurch abzuhelfen, daß er statt des kleinen Spiegels bei E (Fig. 3 Taf. XXIX.) ein achromatisches Prisma hinsetzt, dessen Seitenflächen gegen die Axe des Rohrs geneigt sind und welches die Strahlen in schräger Richtung aus dem Rohre herausbricht, so daß das Bild nun mittels eines Augenglases betrachtet werden kann. Indessen scheint dieser Apparat nicht ganz zweckmäßig zu seyn, da das achromatische Prisma die verschiedenen farbigen Strahlen nicht ganz parallel bricht, sondern immer noch eine kleine Farbenabweichung (das secundäre Spectrum) übrig läßt.

Bei sehr großen Spiegeltelescopen, wie z. B. bei Herschels 40füßigem, dessen Spiegel vier Fuß im Durchmesser hatte und 6 Centner wog, oder bei Schröters 25füßigen, läßt man den kleinen Spiegel ganz weg und betrachtet das Bild unmittelbar durch die Augengläser. Der große Spiegel wird dabei um ein Weniges gegen die Axe des Rohrs geneigt, so

daß das Bild oben an den Rand desselben fällt und bequem betrachtet werden kann. Der Theil des Spiegels, welcher vom Kopfe des Beobachters bedeckt wird, ist bei der Größe des Instruments von keinem Belang, die schiefe Richtung des Spiegels verursacht zwar eine kleine Abweichung, ähnlich der wegen der Kugelgestalt, diese ist aber ebenfalls nur gering, da die Neigung des Spiegels nicht groß ist.

§. 180.

Das Gregory'sche Spiegeltelescop.

So einfach und vortrefflich auch das Newtonsche Spiegeltelescop ist, so fand man doch den Umstand, daß man von der Seite in das Rohr hineinsehen mußte, zu unbequem, besonders für irdische Gegenstände, und suchte daher einen Gedanken Gregorys wieder hervor, der schon vor Newton die Sache zur Ausführung hatte bringen wollen, aber sie aus Mangel an guten Spiegeln wieder liegen lassen mußte. Hierdurch entstand das Gregorysche Spiegeltelescop in seiner jetzigen Gestalt, dessen Einrichtung im Wesentlichen folgende ist:

Es besteht aus einer Röhre von starkem Blech, deren vorderes Ende bei A offen ist. Diese Oeffnung wird um einen kleinen Theil durch einen festgemachten Ring gemäßigt, in welchen ein Deckel eingeschraubt werden kann, damit das Instrument vor dem Verderben geschützt sey, wenn es nicht in Gebrauch genommen wird.

An dem hintern Theile der Röhre ist der Hohlspiegel M N befestigt, welcher genau in der Mitte bei B durchlöchert ist, damit man durch ihn hindurchsehen kann. Der Spiegel M N entwirft nun in seinem Brennpunkte F Bilder der Gegenstände, welche durch den offenen Theil A der Röhre Strahlen auf

ihn werfen können. Von diesem Bilde bei F entwirft der kleine Hohlspiegel S ein zweites Bild, in einer Entfernung, die noch etwas größer ist, als der Abstand beider Spiegel, und damit dieses geschehen könne, muß also der Brennpunkt F des großen Spiegels weiter vom kleinen Spiegel abstehen, als dessen Brennpunkt f, oder die Distanz beider Spiegel muß größer seyn, als die Summe ihrer Brennweiten. Der kleine Spiegel hat eine kurze Brennweite und da der Abstand der beiden Brennpunkte f und F nur gering ist, so geschieht es, daß das zweite Bild in eine so große Entfernung vom Spiegel S fällt (§. 49).

Von dem kleinen Spiegel also nehmen die Strahlen ihren Weg wieder rückwärts und gehen durch das Loch B des großen Spiegels, worauf sie sich zum zweiten Male zu einem Bilde vereinigen, welches aufrecht (als das verkehrte Bild des Bildes bei F) und größer ist, als das Bild bei F. Wird nun endlich das zweite Bild durch ein in der Röhre BC aufgestelltes Doppelocular von der Gattung (§. 162) betrachtet, so ist das Gregorysche Spiegeltelescop zu Stande gebracht. Von dem Doppeloculare BC steht die eine Linse im Loche des großen Spiegels selbst.

Damit man das Instrument für die größere oder geringere Entfernung der Objecte oder nach der Verschiedenheit der Augen einrichten könne, so ist der kleine Spiegel verschiebbar, denn die Ocularröhre BC bleibt unbeweglich fest und der Abstand der Oculare darf nicht geändert werden, damit der farbige Rand nicht hervortrete. Die Verschiebung des Spiegels S geschieht auf folgende Weise: Der kleine Spiegel ist an den eisernen Arm c festgeschraubt und dieser auf dem eisernen Riegel ba befestigt, der in einer Nuth verschiebbar ist. Bei ba hat die Röhre einen Schlitz von gehöriger Länge, damit der auf dem Riegel ba festsitzende Griff d einen hinreichenden Spielraum

habe, um den kleinen Spiegel nach Erforderniß zu verschieben. In dem Griffe d steckt der lange messingene Stab tt, welcher hier eine hinreichende Anzahl Schraubengänge hat, vermöge welcher der Griff d mit allem, was mit ihm fest zusammenhängt, fortgeschoben wird, wenn man den Stab bei w faßt und herumdreht. Durch die Halter u u bewirkt man, daß der Stab tt, wenn er umgedreht wird, sich nicht fortbewegen und in den Griff d einschrauben kann, in welchem Falle der kleine Spiegel S stehen bleiben würde.

Die Ocularröhre BC ist in einen Deckel geschraubt, welcher die Hauptröhre hinter dem großen Spiegel verschließt; sie besteht aus zwei in einander verschiebbaren Röhren und in der kleineren, im Brennpunkte des letzten Oculars befindet sich eine Blendung, gerade so, wie bei dem Doppelocular eines astronomischen Fernrohrs. Da, wo sich das Auge befindet, ist die Ocularröhre mit einer Platte verschlossen, welche nur eine enge Oeffnung hat, um diejenigen Strahlen, welche durch die Oeffnung A der Hauptröhre hindurch unmittelbar auf das Ocular B fallen, abzuhalten, denn wenn diese Strahlen ebenfalls mit ins Auge gelangen würden, so würden sie den Eindruck des Bildes ungemein schwächen. Um die rechte Größe der genannten Oeffnung zu treffen, könnte man eine Rechnung anstellen, indessen scheint es wohl am sichersten, die Sache durch Versuche auszumachen. Hält man nämlich das Auge in einiger Entfernung vom Oculare C, so gewahrt man leicht ein verkleinertes Bild des kleinen Spiegels und die Oeffnung muß gerade so groß seyn, daß nichts weiter sichtbar bleibt, als dieses Bild; denn es ist klar, daß in diesem Falle nur Strahlen vom kleinen Spiegel durch das Ocular C gehen können, während das Bild der Oeffnung A der Hauptröhre ganz verdeckt

ist. Man wird übrigens die Ocularöffnung etwas weniges kleiner zu nehmen haben, als sich aus diesem Versuch ergibt.

§. 181.

Was die Berechnung des Spiegeltelescops anlangt, so bemerken wir darüber folgendes, wornach man immer zu einem guten Resultate kommen wird.

1) Man macht den Abstand des kleinen Spiegels S von dem Brennpunkte F des großen ungefähr $\frac{1}{5}$, $\frac{1}{6}$ oder $\frac{1}{7}$ von der Brennweite des letztern, nämlich FS = $\frac{1}{5}$ FB, $\frac{1}{6}$ FB oder $\frac{1}{7}$ FB. Diese Bestimmung soll nur eine ungefähre seyn, denn bei kleineren Telescopen wird FS einen größern Theil von FB betragen müssen, als bei großen.

2) Der Durchmesser des kleinen Spiegels muß so groß genommen werden, daß derselbe alle die vom großen Spiegel reflectirten Strahlen auffängt, welche mit der Axe parallel einfallen, oder mit andern Worten, der kleine Spiegel muß den Strahlenkegel mFn auffangen, welcher die Verlängerung des Kegels TMN ist, dessen Grundfläche der große Spiegel abgibt. Demnach muß sich mn zu MN, wie FS zu FB verhalten, oder die Oeffnung des kleinen Spiegels muß $\frac{1}{5}$, $\frac{1}{6}$ oder $\frac{1}{7}$ des großen seyn, je nachdem FS $\frac{1}{5}$, $\frac{1}{6}$ oder $\frac{1}{7}$ von FB ist.

3) Eben so groß, als die Oeffnung des kleinen Spiegels, macht man auch das Loch im großen Spiegel, doch wird man lieber den kleinen Spiegel etwas größer machen, als dieses Loch. Es wird demnach das Loch des großen Spiegels $\frac{1}{5}$, $\frac{1}{6}$ oder $\frac{1}{7}$ von dessen Durchmesser oder Oeffnung betragen und somit $\frac{1}{25}$, $\frac{1}{36}$ oder $\frac{1}{49}$ von der Oberfläche verloren gehen, womit auch ein eben so vielster Theil des auffallenden Lichts verloren wird, welcher Lichtverlust indessen von keiner Bedeutung ist.

4) Wenn man nun die Zahl, um welche FB größer ist, als FS (5, 6, 7 oder auch wohl 8) = P, und die Vergrößerungszahl = m setzt und wenn p die Brennweite des großen Spiegels bedeutet, so ist nach Klügel's analytischer Dioptrik:

die Brennweite des kleinen Spiegels =

$$\frac{m(P+1)\times p}{(m-1)PP+2m}$$

die Brennweite des ersten (im Loche des großen Spiegels befindlichen) Oculars =

$$\frac{2(m-1)(P+1)\times p}{m(m+1)+(m-1)P}$$

die Brennweite des zweiten Oculars =

$$\frac{2(m-1)(P+1)\times p}{m(3m-1)-(m-1)P}$$

Die Entfernung des Auges ist ein geringes größer, als die halbe Brennweite des zweiten Oculars. Der Abstand beider Augengläser ist doppelt so groß, als die Brennweite des zweiten und die Blendung kommt daher gerade in die Mitte beider zu stehen.

Es sey z. B. die Brennweite des großen Spiegels p = 12 Zoll und die Vergrößerungszahl = 60. Setzt man dann die Zahl P = 6, d. h. FB 6 mal größer, als FS, so wird die Brennweite des kleinen Spiegels $\frac{60\cdot(6+1)\cdot12}{(60-1)\cdot6\cdot6+2\cdot60}=\frac{60\cdot7\cdot12}{59\cdot6\cdot6+2\cdot60}=$ 2.25 Zoll, die Brennweite des ersten Oculars 2.47 Zoll, die Brennweite des zweiten Oculars 0.94 Zoll.

Ueber die Oeffnung des großen Spiegels kann die Theorie keine Vorschriften machen, da die Geschicklichkeit des Künstlers ihm eine nahe parabolische Krümmung geben kann, wodurch der bei sphärischen Spiegeln zu berücksichtigende Einfluß der Kugelabweichung wegfällt. Nur darf die Oeffnung des Spiegels nicht zu klein werden, damit die Helligkeit nicht

zu gering wird. Man kann sie bei einer gegebenen Vergrößerung eben so schätzen, wie wir es im §. 134 für dioptrische Fernröhre gelehrt haben, so daß bei 60maliger Vergrößerung die Oeffnung des großen Spiegels bis etwa auf $2\frac{1}{2}$ Zoll gehen muß.

In einem Spiegeltelescope von Short, das sehr gut gewesen seyn soll, war

die Vergrößerung beinahe 60fach;	
die Brennweite des großen Spiegels .	9.6 Zoll
seine Oeffnung	2.3 =
die Brennweite des kleinen Spiegels .	1.5 =
Brennweite des ersten Oculars, das hinter dem Loche des großen Spiegels stand	3.8 =
Brennweite des zweiten Oculars . . .	1.1 =
Oeffnung des Loches im großen Spiegel	0.5 =

Unsere Rechnung würde ein abweichendes Resultat geben, allein Klügel weist auch nach, daß bei diesem Short'schen Telescop der farbige Rand nicht genau gehoben und daß das Gesichtsfeld nicht das möglichst größte ist. Unter der Voraussetzung, daß die Spiegel sphärisch gewesen sind, findet Klügel den Halbmesser der Undeutlichkeit nahe = 2 Grad und schließt daraus, daß die Spiegel, wenigstens der große, eine andere Gestalt haben müssen, als die sphärische.

Die beiden Oculare können planconvex gemacht und ihre ebenen Flächen dem Auge zugekehrt werden; doch war es fast Regel, zum zweiten Ocular einen Meniskus zu nehmen, dessen erhabene Seite dem Gegenstande zugekehrt wurde.

§. 182.

Fast ganz nach denselben Grundsätzen, wie das Gregorysche Spiegeltelescop, ist auch das von Cassegrain gebaut. Der große Objectivspiegel MN (Tafel **XXXI.** Fig. 2) empfängt von einem entfernten

Gegenstande Parallelstrahlen und reflectirt sie nach seinem Brennpunkte F, aber ehe sie sich hier zu einem Bilde vereinigen können, werden sie von dem kleinen Convexspiegel S aufgefangen und durch das Loch A des großen Spiegels zurückgeworfen. Fiele der eingebildete Brennpunkt des kleinen Spiegels gerade auch in F, so würden die Strahlen nach der zweiten Reflexion parallel werden; aber die Zerstreuungsweite des Convexspiegels ist größer als SF, so daß der Zerstreuungspunkt etwa in f fällt, und darum bleiben die nach F zu convergirenden Strahlen auch nach der zweiten Reflexion convergirend, nur convergiren sie weniger stark und vereinigen sich erst, nachdem sie durch das Loch des großen Spiegels hindurchgegangen, zu einem wirklichen Bilde cd, welches im Bezug auf das Object die umgekehrte Lage hat. Dieses Bild wird endlich durch ein achromatisches Doppelocular A, B betrachtet, dessen Einrichtung ungefähr nach §. 162 gemacht ist und wovon die Linse A im Loche des großen Spiegels selbst steht. — Die Adjustirung des Rohrs nach der Verschiedenheit der Augen oder der Entfernung der Gegenstände wird ebenfalls, wie beim Gregoryschen Telescop, durch Verschiebung des kleinen Spiegels S bewirkt.

Auf diese Weise stellt das Cassegrain'sche Telescop den Gegenstand umgekehrt vor, was allerdings ein Nachtheil desselben ist. Soll das Bild wieder aufgerichtet werden, so müssen zu den vorigen zwei Ocularen noch zwei hinzukommen, wodurch aber der ohnehin bei Spiegeltelescopen stattfindende Mängel an Licht noch mehr vermehrt wird. Aus diesen Gründen ist auch das Cassegrain'sche Spiegeltelescop nicht in Gebrauch gekommen, obschon es um die doppelte Brennweite des kleinen Spiegels kürzer wird, als ein Gregorysches.

Die Brennweiten der vier Oculare müssen so gewählt werden, daß das Gesichtsfeld möglichst groß und der farbige Rand vernichtet wird. Hieraus entstehen schwere Rechnungen, die hier sich nicht erklären lassen. Wir wollen deshalb dem, der sich dafür interessirt, nur ein Paar Beispiele von Cassegrain'schen Telescopen mit vier Ocularen hersetzen, bei deren Berechnung auf alle Erfordenisse der Deutlichkeit Rücksicht genommen ist.

	Vergrößerung.	
	50 mal.	100 mal.
Brennweite des großen Spiegels	10.00 Zoll	30.00 Zoll
Halbe Oeffnung	1.00 =	2.00 =
Halbe Breite des Lochs . .	0.20 =	0.40 =
Abstand vom kleinen Spiegel	8.00 =	24.00 =
Brennweite des Converspiegels	2.40 =	7.38 =
Halbe Breite des Converspiegels	0.20 =	0.40 =
Abstand vom ersten Glase .	8.00 =	24.00 =
Brennweite dieses Glases .	3.22 =	7.45 =
Halbmesser der vordern Fläche, convex	1.16 =	3.61 =
Halbmesser der hintern Fläche, concav	3.33 =	30.63 =
Halbe Oeffnung	0.20 =	0.40 =
Abstand vom zweiten Glase	4.78 =	9.96 =
Brennweite dieses Glases .	2.00 =	4.07 =
Halbmesser der Vorderfläche, convex	1.56 =	2.37 =
Halbmesser der Hinterfläche, concav	3.72 =	39.34 =
Halbe Breite	0.12 =	0.16 =
Abstand vom dritten Glase .	5.13 =	12.97 =
Brennweite des dritten Glases	1.98 =	2.92 =
Halbmesser jeder Fläche, convex	2.18 =	3.21 =
Halbe Breite, etwas über .	0.27 =	0.52 =
Abstand vom vierten Glase	0.73 =	1.05 =

	Vergrößerung. 50 mal.	100 mal.
Brennweite dieses Glases . .	1.47 Zoll	2.10 Zoll
Halbmesser jeder Fläche, conver	1.61 =	2.31 =
Halbe Breite, etwas über .	0.20 =	0.36 =
Abstand des Auges . . .	0.86 =	1.19 =
Durchmesser des Gesichtsfeldes	32 Min.	22 Min.
Länge des Rohrs für die Oculare	11.50 Zoll	25.17 Zoll
Helligkeit, im Vergleich mit der natürlichen	$\frac{4}{25}$ =	$\frac{4}{25}$ =

Der Ocularansatz ist so genommen, daß auch die Abweichung wegen der Gestalt gehoben wird, wodurch die Ocularröhre etwas lang ausgefallen ist. Will man hierauf nicht sehen, so nehme man alle Abstände der Gläser, so wie auch die Brennweiten der beiden letzten Oculare und den Abstand des Auges halb so groß, als sie angegeben sind und von der angegebenen Brennweite nehme man nur $\frac{3}{4}$. — Wollte man für dieselben Vergrößerungen die Brennweite des großen Spiegels größer nehmen, so müßte man auch alle übrigen Maase in gleichem Verhältnisse vergrößern und eben dieses ist auch im Bezug auf alle übrigen Oeffnungen zu beobachten, wenn man die Oeffnung des Hauptspiegels größer nehmen will, um mehr Helligkeit zu gewinnen.

Achtes Kapitel.

Von den Microscopen.

§. 183.

Die einfachen Microscope.

Wir haben schon in §. 83 gesehen, daß ein Sammelglas von kurzer Brennweite, wenn man es hart an das Auge hält und durch dasselbe einen nahe in den Brennpunkt gehaltenen Gegenstand betrachtet, der Sehwinkel so viel mal vergrößert wird, als die Brennweite der Linse in der Weite des deutlichen Sehens enthalten ist. Man nimmt auch für diesen Fall die Weite des deutlichen Sehens = 8 Zollen, obgleich man weniger dafür ansetzen sollte, da man kleine Objecte in der Regel näher an das Auge zu bringen pflegt, als große und dasselbe durch Anstrengung für kürzere Sehweiten geschickt macht. Brewster nimmt bei Microscopen die Weite des deutlichen Sehens = 5 Zoll, indessen wollen wir bei der einmal herkömmlichen stehen bleiben.

Wenn man nun ein Sammelglas als Microscop gebrauchen will, so kommt es hauptsächlich darauf an, daß seine Brennweite kurz sey, damit es recht stark vergrößere. Ein Glas von 1 Zoll Brennweite z. B. vergrößert nur 8 mal (§. 83), aber wenn seine Brennweite $\frac{1}{4}$ Zoll wäre, so würde es schon 32 mal vergrößern und ein gutes Microscop abgeben. Aber man macht die Brennweiten solcher Linsen noch viel geringer, z. B. nur $\frac{1}{10}$ Zoll, wodurch man eine 80malige Vergrößerung erhält. So viel mal wird nämlich der Sehwinkel und also auch der Durchmesser des Objectivs vergrößert. Nicht selten multiplicirt

man die Vergrößerungszahl des Durchmessers mit sich selbst und erhält dadurch die Vergrößerung der Fläche; wenn z. B. die Gegenstände im Durchmesser 80 mal vergrößert werden, so ist die Vergrößerung der Fläche 80 × 80 = 6400fach und man sagt dem gemäß, das Microscop vergrößere 6400 mal. Solche pomphafte Zahlen dienen zu weiter nichts, als daß sie leicht Unklarheit oder Mißverständnisse erzeugen.

Die Farbenzerstreuung muß bei einfachen Linsen, die als Microscope gebraucht werden, ganz bei Seite gesetzt werden, wohl aber muß man Rücksicht nehmen auf die Abweichung wegen der Kugelgestalt, um nur so viel von der Mitte der Linse zum Durchsehen offen zu lassen, als wegen der Kugelabweichung ohne Schaden der Deutlichkeit erlaubt ist. Man hat durch Versuche gefunden, daß bei Microscopen ein Halbmesser der Undeutlichkeit von 6 Secunden ohne Störung der Deutlichkeit ertragen werden kann, d. h. wenn ein Punkt als ein kleiner Kreis unter einem Sehwinkel von 12 Secunden erscheint, so hat dieses in Absicht auf die Deutlichkeit noch nichts zu sagen, und hiernach bestimmt sich durch Rechnung, die hier nicht erklärt werden kann, die Oeffnung, die man einer Linse von gegebener Brennweite, die als Microscop gebraucht werden soll, geben darf. Ist z. B. eine Linse gleichseitig und ihr Brechungsverhältniß = 1.55, so darf unter obiger Voraussetzung ihre Oeffnung zu

$$\frac{0.7}{m} \text{ Zollen}$$

genommen werden, wo m die Vergrößerungszahl bedeutet. Sollte z. B. die Vergrößerung 50fach seyn, wozu eine Brennweite von $\frac{8}{50} = \frac{4}{25}$ Zollen gehörte, so müßte die Oeffnung $\frac{0.7}{50} = 0.014$ Zoll betragen.

Dieses ist freilich nur wenig, allein man wird ohne Nachtheil der Deutlichkeit die Oeffnung auf das Doppelte steigern können.

Da planconvexe Linsen eine geringere Kugelabweichung haben, als doppeltconvexe, so eignen sie sich zu solchen Microscopen noch besser, weil sie in Folge der geringern Abweichung auch eine größere Oeffnung zulassen. Die convexe Seite muß dabei dem Auge zugekehrt werden. Am vortheilhaftesten aber ist der Gebrauch der Linsen von der besten Form (§. 99), bei welchen das Verhältniß der Krümmungshalbmesser ungefähr 1 zu 6 ist und die stärker gekrümmte Seite dem Auge zugekehrt werden muß. Folgende Tafel gibt für solche Linsen die verschiedenen Dimensionen bei verschiedenen Vergrößerungen unter der Voraussetzung an, daß der Halbmesser der Undeutlichkeit 6 Secunden und das Brechungsverhältniß 1.55 betrage.

Vergrößerung.	Brennweite.	Vorderer Halbmesser.	Hinterer Halbmesser.	Oeffnung.
	Zoll.	Zoll.	Zoll.	Zoll.
10 mal	0.800	4.193	0.492	0.080
20 =	0.400	2.096	0.246	0.040
30 =	0.266	1.398	0.164	0.026
40 =	0.200	1.048	0.123	0.020
50 =	0.160	0.839	0.098	0.016
60 =	0.133	0.699	0.082	0.012
70 =	0.114	0.599	0.070	0.012
80 =	0.100	0.524	0.062	0.010
90 =	0.088	0.466	0.055	0.008
100 =	0.080	0.419	0.049	0.008
120 =	0.066	0.349	0.041	0.006
140 =	0.057	0.299	0.035	0.006
160 =	0.050	0.262	0.031	0.004

Die Helligkeit des durch das Microscop betrachteten Gegenstands kann zwar nie größer werden, als mit bloßen Augen, allein man sieht auch, daß sie in der Regel viel kleiner seyn werde, als die letztere, weil die Oeffnung der Linse viel kleiner ist, als die Pupille. Nimmt man nämlich das Microscop zu Hilfe, so gelangen in dem Maase weniger Strahlen ins Auge, als die Fläche der Linse kleiner ist, als die Pupille, d. h. als das Quadrat des Oeffnungsdurchmessers kleiner ist, als das Quadrat vom Durchmesser der Pupille, und hiernach bestimmt sich die Helligkeit des Microscops im Vergleiche zu der mit bloßem Auge. Verlangt man z. B. eine 80malige Vergrößerung, so ist die Oeffnung der Linse 0.01 Zoll, und da die Oeffnung der Pupille ungefähr 0.1 Zoll beträgt, so ist die Helligkeit des Microscops im Verhältniß $(0.01)^2 : (0.1)^2 = 1 : 100$ geringer, als die mit bloßen Augen. Daher muß man bei starken Vergrößerungen das Object durch Spiegel und andere Vorrichtungen stark beleuchten.

Uebrigens kann man aus der obigen Tabelle ersehen, daß es nicht wohl möglich seyn wird, durch einfache Linsen eine stärkere Vergrößerung, als die 120= bis 140fache zu erreichen, weil die Krümmungshalbmesser gar zu klein werden und der Ausarbeitung zu große Schwierigkeiten darbieten. Dann wird auch die Oeffnung so gering, daß man aus Mangel an Helligkeit endlich gar nichts mehr würde erkennen können. Aber die Anwendbarkeit einfacher Linsen zu Microscopen wird noch mehr dadurch beschränkt, daß das Object der Linse zu nahe liegen muß, wodurch eines Theils die Beleuchtung schwierig wird, andern Theils aber auch die Theile des Objects, welche nicht genau im Brennpunkte liegen, bei kurzen Brennweiten zu undeutlich erscheinen oder gar verschwinden.

Wir bemerken noch zum Schlusse dieser Betrachtung, daß sich zu einfachen Microscopen am besten das Kronglas eignet, wegen der geringern Farbenzerstreuung, daß man aber unter den verschiedenen Sorten diejenige auszulesen hat, welche das größte Brechungsverhältniß besitzt, weil dadurch die Kugelabweichung geringer wird.

§. 184.

Kugelmicroscope.

Weil Linsen von kurzen Brennweiten sich schwer ausarbeiten lassen, so hat man mit Vortheil zu starken Vergrößerungen kleine Glaskugeln gebraucht, welche sich leicht an einer Lampe aus einem unförmlichen Glasstückchen zusammenschmelzen lassen. Wie stark eine solche Kugel die Gegenstände vergrößere, läßt sich aus Fig. 5 (Taf. XXX.) schließen. Es sey nämlich **ACP** die Axe, **C** der Mittelpunkt der Kugel und **AB** ein auf der Axe senkrecht stehendes Object. Von dem Punkte **B** gehe ein Strahl **BCG** so aus, daß seine Richtung gerade in den Kugelmittelpunkt trifft, so geht er ungebrochen durch die ganze Kugel hindurch, ein anderer Strahl **BE** aber, der von demselben Punkte **B** kommt, wird so gebrochen, daß er nach dem Austritt aus der Kugel die Richtung **FP** hat, welche mit **CG** parallel ist. Das Auge sieht daher den Gegenstand **AB** unter dem Winkel **FPC**, d. i. unter dem Winkel **BCA**, also gerade so, als ob es im Mittelpunkte der Kugel sich befände, oder als ob es den Gegenstand **AB** in der Entfernung **CA** betrachtete. Untersucht man also, wie viel mal **CA** in der Weite des deutlichen Sehens enthalten ist, so hat man die Vergrößerung des Kugelmicroscops. Es ist aber **CD** der Halbmesser, **AD** die Brennweite der Kugel, oder wenn $CD = r$ gesetzt wird, so ist

DA = $\frac{1}{2}$ r (§. 103) und CA = $\frac{3}{2}$ r. Demnach die Vergrößerung der Kugel $\frac{8 \text{ Zoll}}{\frac{3}{2} r} = \frac{16 \text{ Zoll}}{3 r}$, d. h. die Kugel vergrößert so viel mal, als der 3fache Halbmesser in der doppelten Weite des deutlichen Sehens (in 16 Zollen) enthalten ist. Wäre z. B. der Kugelhalbmesser = 1 Linie, so wäre die Vergrößerung = $\frac{16 \text{ Zoll}}{3 \text{ Linien}} = \frac{192 \text{ Linien}}{3 \text{ Linien}}$ = 64fach.

Die Abweichung wegen der Gestalt findet Euler etwas größer, als bei Linsen, und nach ihm darf die Oeffnung der Kugel $\frac{0.2896}{m}$ Zoll betragen, welches also ziemlich viel weniger wäre, als bei einer gleichseitigen Linse. Indessen darf man wohl die Oeffnung noch etwas größer machen. Eine Tafel, wie die vorhergehende für Linsen, ist folgende:

Vergrößerung.	Entfernung des Objects.	Halbmesser der Kugel.	Vordere Oeffnung.	Hintere Oeffnung.
10	0.232	0.568	0.014	0.050
20	0.116	0.284	0.007	0.025
30	0.077	0.189	0.005	0.017
40	0.058	0.142	0.003	0.013
50	0.046	0.114	0.003	0.010
60	0.038	0.094	0.002	0.008

Bei Kugeln wird auch das Gesichtsfeld ziemlich beschränkt, da die vordere und hintere Oeffnung eine dünne Röhre bilden. Dasselbe gilt auch, wenn gleich nicht in einem so hohen Grade, von kleinen Linsen.

§. 185.

Um kleine Kügelchen zu Microscopen zu erhalten, kann man auf mancherlei Weise verfahren, z. B. recht zweckmäßig dadurch, daß man einen feinen Glasstreifen durch Hilfe einer Blaslampe in dünne Fäden auszieht und das Ende eines solchen Fadens so lange über das Licht hält, bis es in ein Kügelchen zusammengeschmolzen ist. Dieses Kügelchen wird nun vom Faden abgebrochen und in die kleine Oeffnung eines Metallplättchens so eingesetzt, daß der Punkt, wo es früher mit dem Faden zusammengehangen, auf die Seite zu stehen kommt, damit die Lichtstrahlen nicht durch ihn hindurch gehen können. Man kann auch die unregelmäßige Fläche, welche durch das Abbrechen des Fadens entstanden ist, eben schleifen und poliren, wodurch man eine Art planconvexer Linsen erhält, welche sehr gute Dienste leisten. — Die vollkommensten Kügelchen der Art hat de Torre in Neapel verfertigt, indem er ein unförmliches Glasstückchen in eine kleine Höhlung von calcinirtem Trippel legte und es vor dem Löthrohre zum Schmelzen brachte, wodurch es von selbst eine ganz kugelförmige Gestalt annahm. — Butterfield bildete sich diese kleinen Kugeln, indem er mit einer befeuchteten Nadelspitze etwas feinen Glasstaub aufnahm und denselben an einer Spirituslampe schmelzen ließ. Wenn der der Nadelspitze nächste Theil des Glaskügelchens nicht vollkommen geschmolzen war, so wurde die Kugel von der Nadelspitze abgenommen und, nachdem die Spitze der Nadel wieder befeuchtet worden war, auf der entgegengesetzten Seite der Kugel wieder aufgesteckt und der Flamme wieder genähert, bis sie eine vollkommen sphärische Gestalt erhielt. In Uebereinstimmung damit schreibt Wolff vor, an einen Draht, dessen Spitze vorher etwas befeuchtet worden, ein Glasbröckchen zu

hängen und es in einer Lichtflamme zusammenschmelzen zu lassen. Man kann auch nach Sivright in ein Platinablättchen Löcher machen, deren Durchmesser ungefähr $\frac{1}{10}$ oder $\frac{1}{20}$ Zoll beträgt und in dieselben kleine Glasstückchen einsetzen, die man vor dem Löthrohre zusammenschmelzt. Auf diese Weise erhalten zugleich die Kügelchen eine bequeme Fassung. — Man kann auch ein rohes Glasstückchen mittels des Löthrohrs auf einer Kohle leicht zu einem Kügelchen schmelzen, von dem man die unvermeidlichen Unebenheiten auf der untern Seite so wegschleift, daß diese eben wird.

§. 186.

Microscope von Flüssigkeiten.

Die einfachsten und wohlfeilsten Microscope erhält man offenbar aus Wassertropfen, indem man in ein Stanniolblättchen mittels einer Nähnadel ein kleines Loch sticht, dessen Rand aber sehr sauber gerundet seyn muß. In dieses Loch, dessen Durchmesser ungefähr $\frac{1}{30}$ Zoll betragen kann, bringt man mittels eines spitzigen Hölzchens einen Wassertropfen von angemessener Größe, welcher eine sphärische Gestalt annimmt und dadurch ein gutes Microscop abgibt. — Das Blättchen kann noch besser von einem dauerhaftern Metall seyn. Dieses Microscop ist freilich von keiner langen Dauer, aber es kann auch leicht durch ein neues ersetzt werden.

Nach Wolff's Vorschrift soll man aus einer Messingplatte, deren Dicke ungefähr $\frac{1}{12}$ Zoll beträgt, eine kleine Scheibe ausarbeiten und einen etwas langen Stiel an ihr lassen, an welchem ein Griff aus Holz, Horn oder Knochen befestigt werden kann. Auf der Vorderseite des Scheibchens wird eine sphärische Höhlung gemacht, deren Breite etwa $\frac{1}{8}$ Zoll beträgt und etwas mehr als die halbe Dicke des Messingblättchens

wegnimmt. Auf der andern Seite ist eine ähnliche Höhlung, welche nur halb so breit ist, als die erste und da, wo sich beide Höhlungen berühren, entsteht ein kleines rundes Loch, dessen Durchmesser den 30sten Theil eines Zolls nicht überschreitet. In dieses Loch wird der Wassertropfen eingehängt. Man kann leicht eine solche Vorrichtung anbringen, wodurch das Object dem Tropfen beliebig genähert oder von ihm entfernt und in jeder Lage festgehalten werden kann. Desgleichen kann man auch einen kleinen Spiegel zur Erleuchtung der Gegenstände anbringen.

Hält man einen auf die bezeichnete Weise gefaßten Wassertropfen gegen das Licht und sieht gegen das Licht einer Kerze und sieht hinein, so wird man die in ihm befindlichen kleinen Thierchen und andere Gegenstände ungemein vergrößert sehen, indem die Strahlen von der dem Lichte zugekehrten Seite des Tropfens wie von einem Hohlspiegel reflectirt werden.

Brewster hat eine andere Methode vorgeschlagen, aus Flüssigkeiten sehr kleine Linsen zu bilden. Er bedient sich nämlich eines wasserklaren Oel- oder Terpentinfirnisses und bringt einen sehr kleinen Tropfen davon auf ein ebenes Glastäfelchen, das man vorher mit einer Sodaauflösung von allem Schmuz sorgfältig gereinigt hat, damit der Rand der Linse recht genau zirkelrund werde. Auf diese Weise erhält man also planconvexe Linsen, die von längerer Dauer sind, als die vorher beschriebenen Wassertropfen, da das Oel nicht so schnell verdampft. Bringt man auch auf der andern Seite des Planglases einen zweiten Oeltropfen so an, daß seine Axe mit der Axe des ersten zusammenfällt, so erhält man eine doppelt convexe Linse, und da man hier das Verhältniß der Krümmungshalbmesser in seiner Gewalt hat, so kann man auch die Abweichung wegen der Kugelgestalt auf ein Kleinstes bringen, oder vielleicht ganz und gar vernichten, wenn

der Tropfen in der Mitte stärker gekrümmt ist, als am Rande.

Desgleichen bediente sich Brewster zu einfachen Microscopen der Krystallinsen aus den Augen kleiner Fische, z. B. der Ellritzen, welche sehr gute Wirkung thaten. Nur muß man Sorge tragen, daß man durch die Krystallinse in derselben Richtung sieht, in welcher der Fisch sieht. Da die Dichtigkeit der Krystallinse nach der Mitte hin zunimmt, so wird dadurch der Fehler der sphärischen Aberration wieder größtentheils verbessert. Doch ist ein solches Microscop von keiner längern Dauer, als ungefähr zwei Stunden. Die beste Weise, eine solche Krystallinse zu gebrauchen, ist die, daß man sie in einem etwas größern Ringe, den man an dem Ende eines Drahts gebildet hat und dessen Rand mit einer zähen Flüssigkeit benetzt ist, aufhängt.

§. 187.

In England hat man in neuerer Zeit auf Brewsters Vorschlag Linsen zu einfachen Microscopen aus Edelsteinen verfertigt, welche eine viel größere lichtbrechende Kraft, als Glaslinsen und daher auch bei gleicher Brennweite keine so starke Krümmung ihrer Oberflächen haben, und dem zufolge weniger an dem Fehler der Kugelabweichung leiden. Sie vertragen daher auch eine größere Oeffnung und gewähren mehr Deutlichkeit als Glaslinsen. — Der Diamant hat unter den Edelsteinen die stärkste lichtbrechende Kraft, denn sein Brechungsverhältniß beträgt 2.44. Eine diamantene gleichseitige Biconvexlinse, deren Krümmungshalbmesser = r ist, hat eine Brennweite $= \frac{r}{2.88}$, während sie bei einer Glaslinse von derselben Krümmung nicht viel unter r ist. Erstere ist daher beinahe

8 mal geringer, als die letztere. Die sphärische Abweichung bei der Diamantlinse beträgt, wenn man sie nach §. 99 berechnet, $\frac{5}{6} \cdot \frac{xx}{p}$, während sie bei der Glaslinse $\frac{5}{3} \frac{xx}{p}$, also das Doppelte der ersteren beträgt. Bei einer Linse von der besten Form ist die Abweichung der diamantnen ungefähr 9 mal geringer, als die der gläsernen, wenn beide gleiche Brennweite haben. — Der Diamant, den man zu solchen Linsen verwenden will, muß ganz gleichförmig dicht, rein und frei von der doppelten Strahlenbrechung seyn, von welchen Eigenschaften die letztere jedoch selten ist.

Von allen Edelsteinen eignet sich zu Linsen der Granat am besten, weil er keine doppelte Brechung hat und bei einiger Vorsicht leicht homogen zu erhalten ist. Da er auch die blauen Strahlen des weißen Lichtes absorbirt, so zeigen die aus ihm verfertigten Linsen die Gegenstände viel klarer und deutlicher. Brewster besitzt zwei solche Microscope, die der Optiker Adie verfertigt hat. Ihre Brennweite ist nahe der 40ste Theil eines Zolls, die Vergrößerung also 280fach.

§. 188.

Noch müssen wir zwei anderer, ebenfalls von Brewster zu microscopischem Gebrauch erfundener Gestalten gedenken. Die erste ist die catoptrische Linse, welche aus einer Halbkugel (Taf. XXX. Figur 6) besteht, deren ebene Fläche AB gegen die Linie CX, welche durch den Mittelpunkt und das Object gezogen wird, um einen Winkel von 45° geneigt ist. Die Strahlen werden beim Eintritt in die Halbkugel an ihrer krummen Oberfläche auf gewöhnliche Weise gebrochen, erleiden dann an der Planfläche, wo die Brechung nach §. 89 unmöglich wird, eine

totale Reflexion und werden beim Austritt aus der Halbkugel zum zweiten Mal gebrochen. Dadurch erhält die Halbkugel ein doppelt so großes Vergrößerungsvermögen, als wenn man sie auf die gewöhnliche Art der Lisengläser gebraucht.

Für die vollkommenste Form, sowohl zu einfachen Microscopen, als auch zu Objectivlinsen zusammengesetzter Microscope, besonders wenn sie mit gehöriger Präcision in Granat ausgeführt ist, hält Brewster die in Fig. 7 (Taf. XXX.) dargestellte. Sie ist nichts anders als eine Kugel, bei welcher senkrecht auf die Sehaxe **AB** der rund vertiefte Kanal **abcd** ausgeschliffen ist, welcher gewissermaasen als Blendung dient. Es soll dadurch ein ähnlicher Zweck erreicht werden, wie bei den periscopischen Linsengläsern (Menisken oder concavconvexe Formen) des Wollaston, daß nämlich die Punkte, welche nicht in der Sehaxe **AB** liegen, deutlicher gesehen werden, als bei andern Linsen der Fall ist.

§. 189.

Zusammengesetzte Microscope, die eben die Stelle vertreten, als eine einzige Linse.

Da wegen der Kugelabweichung einfache Linsen, sobald starke Vergrößerungen verlangt werden, nur eine geringe Oeffnung zulassen, so hat man zwei Linsen hart zusammengestellt und diese Verbindung, welche nach §. 90 wie ein einziges Sammelglas von kürzerer Brennweite wirkt, eben so zu Microscopen benutzt, wie die vorhergehenden einfachen Linsen. Durch geschickte Anordnung in den Krümmungshalbmessern der Linsen kann man die Kugelabweichung auf einen weit niedrigern Grad bringen, als bei der einfachen Linse statt hat, so daß man nun auch die Oeffnung größer machen kann, wodurch man an Hel-

ligkeit gewöhnt. Euler und nach ihm Klügel haben dergleichen zusammengesetzte Linsen nach den Erfordernissen der optischen Deutlichkeit berechnet und wir wollen die Resultate dieser Rechnung im Auszuge mittheilen.

I. Einrichtung eines aus zwei Linsen zusammengesetzten Microscops.

1) Die Vergrößerungszahl setze man = m, so ist
2) die Entfernung des Objects von der ersten Linse . . . = $\frac{7.27}{m}$ Zoll
3) die Brennweite d. ersten Linse = $\frac{14.55}{m}$ ⸗
4) Halbmesser ihrer Vorderfläche = $\frac{11.67}{m}$ ⸗ hohl
5) Halbmesser ihrer Hinterfläche = $\frac{4.75}{m}$ ⸗ convex
6) Oeffnung der ersten Linse = $\frac{1.30}{m}$ ⸗
7) Abstand der ersten Linse von der zweiten . . . . = $\frac{1.46}{m}$ ⸗
8) Brennweite d. zweiten Linse = $\frac{16.00}{m}$ ⸗
9) Halbmesser ihrer Vorderfläche = $\frac{83.91}{m}$ ⸗ convex
10) Halbmesser ihrer Hinterfläche = $\frac{9.83}{m}$ ⸗ ⸗
11) Oeffnung der zweiten Linse etwas größer, als die Oeffnung der ersten.
12) Die wahre Größe des Stücks, welches man mit einem Male übersieht, beträgt . . . $\frac{6.2}{m}$ ⸗

Da eine Linse von der besten Form nur eine Oeffnung von $\frac{0.8}{m}$ Zoll haben darf, wenn die Deutlichkeit, d. h. der Effect der Kugelabweichung eben so groß seyn soll, so sieht man, daß bei der doppelten Linse die Oeffnung ziemlich doppelt so groß seyn darf und daß daher die Helligkeit 3 bis 4 mal so groß seyn wird, als bei einer einfachen Linse.

II. Einrichtung eines aus drei Linsen zusammengesetzten Microscops.

1) Abstand des Objectes von der ersten Linse	$\frac{6.67}{m}$	Zoll	
2) Brennweite der ersten Linse	$\frac{20}{m}$	=	
3) Halbmesser ihrer Vorderfläche	$\frac{7.46}{m}$	=	hohl
4) Halbmesser ihrer Hinterfläche	$\frac{4.44}{m}$	=	convex
5) ihre Oeffnung	$\frac{1.94}{m}$	=	
6) ihr Abstand von der zweiten Linse	$\frac{1.33}{m}$	=	
7) Brennweite der zweiten Linse	$\frac{22.67}{m}$	=	
8) Halbmesser ihrer Vorderfläche	$\frac{18.19}{m}$	=	convex
9) Halbmesser ihrer Hinterfläche	$\frac{7.40}{m}$	=	=
10) ihre Oeffnung	$\frac{3.70}{m}$	=	
11) ihr Abstand von der dritten Linse	$\frac{1.33}{m}$	=	

12) Brennweite der dritten Linse $\frac{24}{m}$ Zoll

13) Halbmesser ihrer Vorderfläche $\frac{125.85}{m}$ = convex

14) Halbmesser ihrer Hinterfläche $\frac{14.75}{m}$ = =

15) ihre Oeffnung . . . . . $\frac{7.37}{m}$ =

Es versteht sich, daß alle Linsen so dünn geschliffen werden müssen, als es nur angeht. — Bei starken Vergrößerungen bleibt übrigens eben die Unbequemlichkeit, wie bei der einfachen Linse, daß nämlich das Object zu nahe an das Glas gehalten werden muß.

§. 190.

Einfachere Combinationen sind vorzüglich in England in Vorschlag gebracht und ausgeführt worden. Sie sind etwa folgende:

1) Wollaston verband zwei planconvexe Linsen von gleicher Brennweite (Taf. **XXXII**. Fig. 1) so mit einander, daß sie ihre ebenen Seiten einander zukehren und nannte diese Vorrichtung eine periscopische, weil er dadurch für diejenigen Punkte, welche nicht in der Sehaxe liegen, eine größere Deutlichkeit erhalten zu haben meinte. Zwischen beide Linsen wird ein Metallplättchen **m n** gesetzt, welches in der Mitte eine Oeffnung hat, deren Durchmesser ungefähr den fünften Theil von der Brennweite einer jeden Linse ausmacht. Dieses Plättchen dient dem Doppelmicroscop als Bedeckung. Das Gesichtsfeld betrug, wenn die Oeffnung zwischen beiden Linsen genau centrirt war, volle 30 Grad. In der aus Brewster's **Treatise on the microscope** entlehnten Zeichnung sind beide Linsen so gestellt, daß ihre krummen Oberflächen

genau in die Kugel fallen, aus der sie geschliffen sind.

2) Auf diese Idee Wollastons hat Brewster seine periscopischen Sphären gegründet. Fig. 2 (Taf. XXXII.) ist eine solche. Die zwei Planconvexlinsen **AB** und **CD**, die aus derselben Glasart nach gleicher Krümmung geschliffen sind und der Leichtigkeit der Ausführung halber gleiche Dicke haben können, sind so verbunden, daß ihre krummen Oberflächen genau in die Fläche der Kugel fallen, aus der die Linsen gearbeitet werden. Beide Linsen sind verbunden durch das Stück Glas **mn**, aus eben der Glasart, und werden durch dasselbe so aus einander gehalten, daß ihre krummen Oberflächen genau in die Kugelfläche zu stehen kommen, wornach sich die Dimension **ab** bestimmt. Nach der Richtung **mn** hat das Glasstück eine solche Dicke, daß eine der Kugelabweichung angemessene Apertur hervorgebracht wird.

In Fig. 3 sind zwei Planconvexlinsen von gleicher Krümmung und Dicke entweder mittels eines Planglases oder einer zwischen ihnen eingeschlossenen Flüssigkeit, die mit dem Glase gleiches Brechungsvermögen hat, so verbunden, daß ihre krummen Oberflächen genau in die Kugelfläche passen. Die Aperturen können auf den ebenen Seiten **AB** und **CD** angebracht werden.

In Fig. 4 sind zwei gleichseitige Convexlinsen mittels einer Flüssigkeit auf eine ähnliche Weise verbunden. Die Verbindung kann durch eine gläserne Röhre **ab** bewerkstelligt werden, in welche man die Flüssigkeit bringt. Man kann auch auf solche Weise die Farbenzerstreuung ganz aufheben, wenn die zwischen beiden Glaslinsen eingeschlossene Flüssigkeit die Farben stärker zerstreut, als das Glas.

3) Herschel combinirte eine Linse von der besten Form mit einer Planconcavlinse so, daß die stärkere

Convexität der ersteren auf die ebene Seite der letzteren zu liegen kommt, und die concave Seite nach dem Gegenstande zugekehrt wird. Die Zerstreuungsweite der Planconcavlinse soll $2\frac{6}{10}$ mal größer seyn, als die Brennweite der ersten Linse. Obgleich bei einer solchen Combination die Abweichung wegen der Kugelgestalt sehr groß wird, so soll sie doch dem periscopischen Erforderniß in großem Maase genug thun, indem sich innerhalb eines Gesichtsfeldes von 40° die Gegenstände sehr deutlich zeigen.

4) Eine andere Doppellinse von Herschel besteht aus zwei planconvexen Gläsern, die ihre convexen Seiten gegen einander kehren und sich hart berühren. Die Kugelabweichung wird geringer, als bei einer Linse von der besten Form, die mit der Doppellinse gleiche Brennweite hat. Noch geringer wird diese Abweichung, wenn sich die Brennweite der dem Auge zunächst stehenden Linse zur Brennweite der andern wie 1 : $2\frac{3}{10}$ verhält.

5) Endlich bemerken wir noch die Doppellinse des Wollaston zu microscopischem Gebrauch. Sie besteht aus zwei planconvexen Gläsern (Taf. **XXXII.** Fig. 5), deren Brennweiten sich wie 3 zu 1 verhalten und deren ebene Seiten beide dem Gegenstande zugekehrt sind. Beide Linsen sollen um 1.4 bis 1.5 der Brennweite der kleinsten von einander abstehen, und die Linse mit der größern Brennweite dem Auge zugekehrt seyn. Damit man diejenige Entfernung beider Linsen treffen könne, bei welcher der Effect am besten ist, so ist jede in einem besondern Stücke befestigt und können durch Schraubengewinde einander mehr oder weniger genähert werden. Die genaue Centrirung beider Linsen ist hierbei ein wesentliches Erforderniß. Die Blendung, deren Oeffnung sich am besten durch die Erfahrung bestimmen läßt, kann un-

mittelbar hinter der dem Object zunächst liegenden Linse angebracht werden.

§. 191.

Gestelle zu einfachen Microscopen.

Ein wichtiger Gegenstand bei den Microscopen sind die Gestelle, welche dazu dienen, die vergrößernde Linse und das betrachtete Object auf eine sichere und zur Beobachtung bequeme Weise festzuhalten. Denjenigen Linsen, welche nicht stark vergrößern, gibt man in der Regel blos eine Fassung von Holz, Horn, Elfenbein oder Metall, die einen Stiel zum Halten haben kann. Hier reicht es hin, daß man die Linse (Loupe) in der einen, das an einer Nadelspitze befestigte Object in der andern Hand halte und durch die Linse betrachte. Diesem entspricht das sogenannte Zirkelmicroscop, welches die Form eines Zirkels hat, auf dessen einer Spitze die Linse in ihrer Fassung, auf der andern das Object befestigt ist. Dadurch, daß man den Zirkel öffnet oder schließt, kann man das Object in die rechte Entfernung bringen.

Von den mancherlei andern Vorrichtungen scheint mir nur das sogenannte Willsonsche oder Lieberkühnsche Microscop hier noch einen Platz zu verdienen. Es besteht aus zwei Röhren, die sich in einander schrauben lassen (Taf. XXXII. Fig. 6). Am Ende der innern Röhre AC befindet sich ein großes erhabenes Linsenglas, dessen Brennweite ungefähr bis D ans andere Ende des Instrumentes reicht. Wenn man dieses Glas gegen das Tageslicht kehrt, so wird alles, was sich um D herum befindet, stark erleuchtet. In der äußern Röhre stemmt sich eine Spiralfeder von einigen Windungen aus Draht mit ihrem Ende gegen eine anliegende Platte, welche dadurch beständig gegen eine zweite Platte angedrückt

wird. Die äußere Röhre hat auch an der Vorderseite bei D die zur Vergrößerung dienende Linse, welche in eine hohle oder trichterförmige Fassung eingelegt ist, so daß man das Auge bequem in die Höhlung legen und der Linse so nahe als möglich bringen kann, Beide Röhren sind an den Seiten fast an ihrer ganzen Länge hin ausgeschnitten und offen. Die Gegenstände befinden sich auf einem Fig. 7 besonders vorgestellten Schieber mit Löchern, in welchen sie zwischen Plättchen von dünnem Glas oder Frauenglas, die durch die Elasticität ringförmig gebogener Drähte in den Löchern festgehalten werden, eingeklemmt sind. Diesen Schieber steckt man durch die Oeffnungen an den Seiten der Röhre zwischen die zwei vorhin erwähnten Platten, welche in der Mitte durchbohrt sind, so daß das Loch mit dem Gegenstande in der Mitte steht. Hier wird der Schieber durch die Kraft der Feder gegen das eingeschraubte Ende der innern Röhre fest angeklemmt und man kann nun die ganze Vorrichtung bei dem Griff anfassen, die Stelle D an das Auge bringen und indem man AC der Erleuchtung halber gegen das Tageslicht kehrt, beide Röhren so lang in einander schrauben, bis der Gegenstand die gehörige Entfernung von D erhält und das vergrößerte Bild desselben recht deutlich wird. Bei D kann man Fassungen mit größeren oder kleineren Linsen nach Gefallen einschrauben.

§. 192.

Das Gestelle, welches Wollaston für seine in §. 190, 5 beschriebene Doppellinse einrichtete, ist auf Taf. XXXII. (Fig. 8) vorgestellt. Es besteht aus einer ungefähr 6 Zoll langen Röhre, die inwendig schwarz angestrichen ist und am untern Ende eine kreisförmige Oeffnung A hat, deren Durchmesser etwa

$\frac{3}{10}$ eines Zolles beträgt. Der ebene, unter 45° gegen die Axe der Röhre geneigte Planspiegel ab sendet das vor R kommende Licht aufwärts durch das Loch A auf die Planconvexlinse UT, deren Brennweite etwa $\frac{3}{10}$ eines Zolles beträgt und deren ebene Seite dem Auge zugekehrt ist. Die Linse UT verursacht ein kreisförmiges Bild des Loches A bei e und damit dieses geschehen könne, kann die Apertur bei A durch Schrauben in die gehörige Stelle gerückt werden. In das Bild e des Loches A kommen die durchsichtigen Objecte zu liegen und die Fassung der beiden Linsen mn kann durch ein Getriebe, das in eine gezahnte Stange eingreift in die rechte Entfernung von e gebracht werden, wie es das deutliche Sehen verlangt. Vermittels der Schraube S kann man das Instrument auf einem Klotz oder einem Objectivtische befestigen, wovon später die Rede seyn wird.

§. 193.

Ich will noch ein Paar künstlichere Stative zu einfachen Microscopen beschreiben, die in England verfertigt sind und die ich aus Brewsters „Abhandlung vom Microscop" entlehne.

Die zur Vergrößerung dienenden Linsen, welche einfach oder auch nach §§. 189 u. 190 zusammengesetzt seyn können, werden in eine Fassung eingesetzt, von der in Fig. 1 (Taf. XXXIII.) ein Durchschnitt zu sehen ist. Dieselbe Fassung kann man auch in Fig. 2 bei j wieder erkennen. An dieser Stelle kann auch statt der einfachen Linse die Röhre eines zusammengesetzten Microscops angebracht werden.

Das Gestelle des Microscops besteht aus einem Pfeiler b (Fig. 2), an dessen unterm Ende drei Füße a in Charnieren beweglich sind und durch Schrauben fest angezogen werden können. Am obern Ende des

Pfeilers b befindet sich ein Charnier, in welchem die Röhre i r c h auf und nieder bewegt werden kann, um dem Instrumente nach Bedürfniß des Beobachters bald eine horizontale, bald eine verticale, bald eine geneigte Lage geben zu können. Diese Röhre wird in einer Zwinge f festgehalten, die mit einer Schraube zusammengeklemmt werden kann.

An dem einen Ende der Röhre i r c h ist der dreieckige Knopf r angeschraubt, der einen Arm l von sich streckt, an welchem der Objecthalter befestigt ist. Dieser Knopf hat in seiner Mitte eine dreieckige Höhlung, in welche die dreieckige Röhre i genau paßt und sich darin hin- und herschieben läßt. Am andern Ende der Röhre i r c h ist eine zweite Röhre h eingeschoben, die mittels des an dem Schraubenknopfe k befindlichen, durch die ganze Röhre hindurch gehenden Stieles mit der dreieckigen Röhre i zusammenhängt.

Auf der dreieckigen Röhre i ist ein Arm befestigt, welcher die Linsenkapsel j trägt. Ist nun das Bedürfniß vorhanden, die Linse j um eine weite Strecke zu verschieben, so schiebt man die Röhre h in der Röhre c ein oder aus, wodurch wegen des Zusammenhangs mit der dreieckigen Röhre i auch diese mit verrückt wird. Wenn aber eine feine Stellung nöthig ist, die nur durch eine langsame stetige Bewegung zu erreichen steht, so wird an der Schraube k gedreht, wodurch die Röhre i sanft fortgeschoben wird.

Der innere Mechanismus der Röhre r c h ist in Fig. 3 zu sehen. Hier ist r der dreieckige Knopf r in Fig. 2 und i i' die in ihm verschiebbare dreieckige Röhre, an deren unterm Ende i' ein solides Metallstück sich befindet, durch welches die genannte Schraube bis in den hohlen Raum der Röhre hindurchgeht und sich mittels eines Stieles bis zu dem Knopfe k fortsetzt, durch welchen sie herumgedreht wird. Die in der Figur ersichtliche Spiralfeder drückt mit dem einen

Ende gegen die dreieckige Röhre, mit dem andern gegen eine in die Röhre h (Fig. 2) eingesetzte Sperrung t.

Die Ringe d und e sind auf der Röhre c (Fig. 2) gedränge verschiebbar; der Ring d trägt einen Hohlspiegel und der andere e eine Erleuchtungslinse, die in der Figur nicht mit gezeichnet ist. Die Röhre über f ist nichts anderes, als ein Erleuchtungsapparat, dergleichen in Fig. 8 (Taf. XXXV.) abgebildet ist. Bei A ist ein Spiegel, um Licht in die Röhre zu bringen, und bei i g sind die Zapfen, um mittels derselben die daran befestigte Erleuchtungslinse nach Gefallen zu drehen.

Die Objecte werden in eben solchen Schiebern, wie in Taf. XXXII. Fig. 7 dargestellt und in §. 191 beschrieben, festgehalten; diese Schieber werden durch zwei federnde Metallblättchen auf dem Objectträger festgeklemmt.

§. 194.

Das folgende microscopische Gestell eignet sich vorzüglich zu botanischen und anderen naturwissenschaftlichen Zwecken.

Fig. 1 (Taf. XXXIV.) ist eine perspectivische Ansicht davon. Ein fester Pfeiler ruht auf drei Füßen a a a, die aus hartem Glockenmetalle gemacht sind. Dieser Pfeiler trägt das Tischchen x, worauf die Objecte gelegt werden; dasselbe ist am Pfeiler mittels des Ringes 1 (Fig. 3) befestigt und ruht auf den Streben 2 2 (Fig. 1), damit es eine hinlängliche Festigkeit besitzt und die Hand des Beobachters sicher darauf ruhen kann.

In Fig. 2 ist die innere Einrichtung des Pfeilers hinreichend genau zu erkennen. Der Aufsatz e ist durch drei Schrauben auf dem Pfeiler befestigt

und hat in seiner Mitte ein dreieckiges Loch, durch welches die dreieckige Röhre f mit gutem Schlusse sich auf- und abschieben läßt; am untern Ende geht die Röhre f durch eine zweite dreieckige Höhlung in dem im Innern des Pfeilers befestigten Stück g g. Demnach kann die Röhre f auf- und abgeschoben werden, welche Bewegung durch die Schraube i hervorgebracht wird, welche in ein metallenes Klötzchen geht, das sich am untern Ende der Röhre f befindet und mittels des Rädchens o herumgedreht wird. Man erkennt in der Zeichnung unten bei o leicht die Vorrichtung, durch welche die Schraube i festgehalten wird, daß sie nicht auf- oder abwärts sich bewegen kann, und demgemäß die Röhre f die auf- oder abwärts gehende Bewegung annehmen muß, sobald man die Schraube i mittels des Rädchens o herumdreht.

In der dreieckigen Röhre kann und wird ferner die dreieckige Stange oder Röhre s auf- und abgeschoben, was mittels des Getriebes t geschieht, daher die Einrichtung so genommen seyn muß, daß die Röhre so weit an der Seite offen ist, als das Getriebe t die Stange s greifen soll, die daher auch die erforderlichen Zähne haben muß. Wenn man nun die Schraube i mittels des Rädchens o herumdreht, so bewegt sich die Röhre f mit der Stange s zugleich auf und ab, und daher muß der Pfeiler der Länge nach einen Schlitz u v haben, in welchem auch die Welle des Triebrädchens t sich auf und ab bewegen kann. — Die Stange s bewegt sich in zwei dreieckig ausgehöhlten Klötzern, die in der Röhre f an beiden Enden befestigt sind. Sie ist oben und unten ihrer Länge nach durchbohrt, damit in das untere Loch der in die Röhre f hineingehende Theil der Schraube i sich einsenken könne; in das obere Loch wird ein conischer Stift gesteckt (siehe 10 in Fig. 1), welcher den Arm mit der Linse oder auch den Röhren des

zusammengesetzten Microscops trägt. Der Deckel w ist von der Seite des Pfeilers abgenommen, damit man die Vorrichtung sehen kann, durch welche das Triebrädchen t gehalten wird.

Mittels des Triebrädchens t gibt man den Linsen eine rasche, grobe Bewegung, die subtile Bewegung und genaue Stellung der Linsen erhält man aber mittels Drehen an dem Rädchen o. Die Stange s kann um $1\frac{1}{2}$ Zoll fortgeschoben werden und die Röhre s sammt der Stange gleichfalls um $1\frac{1}{2}$ Zoll, so daß man ein Fortrücken der Linse um 3 Zoll in seiner Gewalt hat.

Die Schraube i mit ihrem Rädchen o ist zugleich eine Vorrichtung, wodurch man die Dicke eines Objects sehr genau messen kann. Wenn nämlich die Schraube i so geschnitten ist, daß 50 Gänge auf einen Zoll gehen, so wird bei einer Umdrehung der Schraube oder des Rädchens o eine Fortrückung um $\frac{1}{50}$ Zoll stattfinden und daher eine Fortrückung um $\frac{1}{5000}$ Zoll, wenn das Rädchen o nur um den 100sten Theil umgedreht wird. Aus diesem Grund ist auch der Umfang des Rädchens o in 100 Theile getheilt und am Fuße des Gestelles ein Zeiger angebracht, um bemerken zu können, um wie viel das Rädchen herumgedreht worden. — Wenn man nun die Linse so stellt, daß man die obere Fläche eines auf dem Träger 11 befindlichen durchscheinenden Körperchens deutlich sieht, hernach aber so lange schraubt, bis man die untere Fläche eben so deutlich sieht, so gibt der Raum, um welchen sich die Schraube oder die Linse fortbewegte, den Durchmesser des Körperchens an. Brewster bemerkt hiebei mit Recht, daß das so erhaltene Resultat nicht richtig seyn könne, weil auf die Strahlenbrechung im Körperchen selbst keine Rücksicht genommen ist. Man muß vielmehr, nachdem man die obere Fläche des Körperchens deutlich gesehen hat,

dasselbe wegnehmen und die Linse hernach so stellen, daß man die Glasfläche, worauf das Körperchen lag, deutlich sieht. Dann gibt der Raum, um welchen die Schraube oder die Linse fortbewegt worden, genau den fraglichen Durchmesser des beobachteten Körperchens an.

Eben so sinnreich, als die bisherige Einrichtung, um der Linse eine Bewegung nach der Verticallinie zu geben, ist auch die Vorrichtung, um die verschiedenen Theile eines Objects in das Sehfeld zu bringen, ohne das Object selbst unmittelbar zu bewegen. Dieser Zweck wird einmal erreicht durch den Arm 10 (Fig. 1 Taf. **XXXIV.** und Fig. 3 Taf. **XXXV.**), welcher die Linse trägt. Dieser Arm ist einmal um den in die Stange 5 (Fig. 2 Taf. **XXXIV.**) gehenden conischen Zapfen beweglich, läßt sich aber auch in einer Nuth mittels eines Triebrädchens 10 hin- und herschieben, so daß auf diese Weise die Linse in jeden Punkt der Horizontalebene gebracht werden kann.

Zweitens erreicht man diesen Zweck durch Verrückung des Objectträgers 11 (Fig. 1 Taf. **XXXIV.**), der auf dem Tischchen x befestigt ist. Demgemäß besteht das Tischchen x aus drei Platten, deren unterste (Fig. 3 Taf. **XXXIV.**) mittels des Ringes 1 am Pfeiler festgehalten wird und auf zwei Streben ruht, damit sie die Schwere der Hände tragen kann. Fig. 3 (Taf. **XXXIV.**) stellt die unterste Seite der unteren Platte vor. Die mittlere Platte (Fig. 4 Taf. **XXXIV.**) hat die sich rechtwinklig durchkreuzenden Schlitze 3 3 und 4 4, von denen 3 3 nach Oben, 4 4 aber nach Unten sich erweitern. Mittels der Schlitze 4 4 hängt die mittlere Platte mit der obern durch die Schrauben 4 4 zusammen, welche von der obern Seite der obern Platte her eingehen (siehe Fig. 1 Taf. **XXXV.** bei 4 4), während die Schlitze 3 3 auf die obere Seite der untern Platte befestigt sind. Hierdurch bezweckt

man, daß die Platten sich nach der Richtung ihrer Diagonalen senkrecht gegen einander bewegen können; denn die obere Platte kann in der Richtung der Schlitze 4 4 verschoben werden, eben diese Platte aber auch sammt der mittlern in der Richtung der Schlitze 3 3. Die Verschiebung wird mittels der Schrauben 7 8 (Taf. XXXIV. Fig. 3 und Taf. XXXV. Fig. 1) bewerkstelligt, von denen eine in Fig. 2 (Taf. XXXV.) besonders vorgestellt ist. Beide Schrauben haben ihre Muttern in der untersten Platte, die ganz unbeweglich festsitzt; die Schraube 7 ist aber mit dem Knopf a (Fig. 2 Taf. XXXV.) in die obere, die Schraube 8 in die mittlere Platte eingelassen, in der Weise, wie aus Fig. 3 (Taf. XXXIV.) deutlich zu ersehen ist. An jeder Seite des Pfeilers befindet sich eine solche Schraube, damit die Hand sie leicht umdrehen kann und kein Licht auffängt. Indem man nun die erste dieser Schrauben und dann die andere, oder beide zugleich umdreht, kann man jedweden Theil des Objects in das Gesichtsfeld bringen.

Das Gestelle, welches die Objecte halten soll, ist bei 11 (Fig. 1 Taf. XXXIV. und Fig. 1 Taf. XXXV.) zu sehen. Eine Röhre 12 (Taf. XXXV. Fig. 4) ist in die obere Platte des Tischchens geschraubt und auf ihr steckt die Röhre 11, welche die in Fig. 1 (Taf. XXXIV.) bei 11 zu sehenden elastischen Finger trägt. Objecte von verschiedener Dicke werden so durch Drähte, welche in kleinen Röhrchen stecken, auf die Platten niedergedrückt. — Um die verschiedenen Seiten eines Objects zu betrachten, ohne dasselbe zu verrücken und dadurch vielleicht zu verunstalten, dient das in Fig. 5 (Taf. XXXV.) abgebildete Gestell. Die Fig. 6 (Taf. XXXV.) abgebildete Verdichtungslinse steckt in den Dillen 5 oder 6 (Fig. 1 Taf. XXXIV.) und die Zange (Fig. 7 Taf. XXXV) wird auf gleiche Weise befestigt. —

Der Hohlspiegel A (Fig. 1 Taf. XXXV.) dient zur Erleuchtung der Objecte.

§. 195.

Zusammengesetzte Microscope.

Unter zusammengesetzten Microscopen versteht man solche, bei welchen nicht der Gegenstand selbst, sondern ein Bild desselben betrachtet wird. Die einfachste Einrichtung eines solchen Werkzeugs ist folgende (Taf. XXXVI. Fig. 1):

A ist ein Sammelglas von sehr kurzer Brennweite, die nicht leicht über ½ Zoll geht. Etwas weiter als seine Brennweite steht das Object E von ihm ab und wir wissen daher aus §. 80, daß hinter dem Glase A ein umgekehrtes und vergrößertes Bild D des Objects E entstehen muß. Dieses Bild wird nun vermittels des Augenglases D, das ebenfalls keine große Brennweite hat, betrachtet und noch mehr vergrößert. — Natürlich haben die Gläser A und D eine gemeinschaftliche Axe.

Die Vergrößerung des Instruments läßt sich ungefähr aus folgenden Betrachtungen beurtheilen. Das Bild D ist so viel mal größer als der Gegenstand E, als die Weite AE in der Weite AD enthalten ist (§. 82); oder wenn AD 20mal größer wäre, als AE, so wäre auch das Bild D 20mal größer als das Object E. Dieses 20mal vergrößerte Bild wird aber durch das Augenglas B wiederum vergrößert und es würde daher das ganze Werkzeug $20 \times 8 = 160$mal vergrößern, wenn das Glas B 8mal vergrößerte. Die Vergrößerung des Glases B muß aber nach §. 183 geschätzt werden, und folglich ist für Kurz- oder Weitsichtige die Vergrößerung des Microscops verschieden.

Wenn der Abstand der beiden Gläser und ihre Brennweiten gegeben sind, so läßt sich die Vergrößerung berechnen. Es sey nämlich der Abstand der Gläser = d, die Brennweite des Glases A oder des Objectivglases = p, die des Augenglases = q, alles in Zollen ausgedrückt; endlich die Weite des deutlichen Sehens für das bloße Auge allgemein = e, so ist die Vergrößerung

$$\frac{(d-q-p)\times e}{p\times q}.$$

Wäre z. B. d = 10 Zoll, p = $\frac{1}{3}$ Zoll, q = 1 Zoll, e für einen Weitsichtigen = 12 Zoll, so würde das Microscop $\frac{(10-1-\frac{1}{3})\times 12}{\frac{1}{3}\times 1} = 312$ mal vergrößern. Wenn die Weite e des deutlichen Sehens nur 8 Zoll angesetzt werden dürfte, so würde das Werkzeug nur 208 mal vergrößern. Man sieht also, daß bei der Beurtheilung der Vergrößerung eines Microscops auf die besondere Beschaffenheit des Auges viel ankommt.

§. 196.

Ein wichtiger Gegenstand bei zusammengesetzten Microscopen ist das Gesichtsfeld, welches hier nicht, wie bei einem Fernrohr, in Minuten und Secunden angegeben wird, sondern in Theilen des Zolles, indem man die größte Ausdehnung angibt, welche mit einem Microscope noch übersehen werden kann. Man ziehe vom Rande c des Augenglases (Taf. XXXVI. Fig. 1) nach der Mitte des Objectivglases den Hauptstrahl cb und verlängere denselben, bis er das Object Ea in dem Punkt a trifft; das Stück Ea ist die Hälfte der Ausdehnung, die man mit dem Microscop auf einmal übersieht und die doppelte Größe Ea in Zol=

len ausgedrückt, ist das, was man bei Microscopen Gesichtsfeld nennt. Es ist eine Hauptbedingung eines guten Microscops, daß es ein großes Gesichtsfeld habe, aber freilich wird bei starken Vergrößerungen auch das Gesichtsfeld sehr klein.

Das Gesichtsfeld des Microscops läßt sich leicht aus der Ueberlegung herleiten, daß wegen der Aehnlichkeit der Dreiecke bEa und bcf die Länge Ea so viel mal kleiner ist, als die halbe Oeffnung des Oculars fc, als bE kleiner ist, denn bf; und es gilt dieselbe Betrachtung auch für Microscope von mehreren Gläsern, wenn nur der Hauptstrahl bc durch alle folgenden Oculare hindurch gehen kann.

§. 197.

Je nachdem man die Gläser **A** und **B** näher oder weiter an einander stellt, kann man auch die Vergrößerung ändern und man könnte demnach die Vergrößerung beliebig weit treiben, wenn man nur den Abstand beider gehörig groß nähme, allein man kommt hierbei bald auf Grenzen, welche man nicht überschreiten darf. Im Allgemeinen nämlich hängt mit der Zunahme der Vergrößerung auch zusammen: 1) eine Abnahme des Gesichtsfeldes in eben dem Maaße, als die Vergrößerung wächst; 2) eine Zunahme der Undeutlichkeit wegen der Farbenzerstreuung des Objectivglases; 3) eine Zunahme der Undeutlichkeit wegen der Kugelabweichung des Objectivglases. Damit die beiden letzten Fehler nicht allzugroß werden, ist es nöthig, daß man die Oeffnung des Objectivs gehörig beschränke, wodurch wieder ein vierter Fehler erzeugt wird, der Mangel an Licht. Diesem kann man zwar wieder dadurch abhelfen, daß man die Objecte durch Hohlspiegel oder Sammelgläser stark erleuchtet, allein auch diese Mittel würden

nicht mehr hinreichen, wenn man, um ungemein starke Vergrößerungen mit Deutlichkeit zu erhalten, die Oeffnung des Objectivs allzusehr verkleinern wollte.

Man muß durch Versuche finden, welche Linsen am besten zu einander passen, weil sich die Wirkung der Farbenzerstreuung und der Kugelabweichung nicht wohl berechnen läßt, so daß man aus den größten zuläßlichen Fehlern die Form der Gläser richtig bestimmen könne. Emerson führt z. B. an, daß ein Microscop mit zwei Linsen gute Dienste thue, wenn die Brennweite des Objectivs $\frac{7}{10}$ Zoll, die des Oculars 2 Zoll und die Oeffnung des Objectivs $\frac{1}{10}$ genommen wird. Der Abstand beider Linsen soll 9 Zoll betragen, so daß also nach §. 195 die Gegenstände 36 mal im Durchmesser vergrößert werden, wenn die Weite des deutlichen Sehens zu 8 Zoll genommen wird.

Obgleich man stärkere oder schwächere Vergrößerungen durch die bloße Aenderung des Abstandes zwischen beiden Gläsern erhalten könnte, so bedient man sich doch dieses Mittels nicht, sondern hat nach der neuern Einrichtung Objective von verschiedenen Brennweiten in Bereitschaft, um die Vergrößerungen zu ändern; die kürzere Brennweite des Objectivs gibt bekanntlich bei unveränderter Länge des Rohrs die stärkere Vergrößerung. — Früher bediente man sich zu verschiedenen Vergrößerungen verschiedener Oculare.

§. 198.

An dem in §. 195 beschriebenen Microscope hat man verschiedene Verbesserungen angebracht. Die erste besteht darin, daß man sich nicht eines einfachen, sondern nach §. 162 zusammengesetzten Oculars bedient, wodurch nicht nur bei gleicher Vergrößerung das Gesichtsfeld bis auf das Doppelte erhöht, son-

dern auch der farbige Rand gehoben wird. Hierdurch entsteht das Microscop mit drei Gläsern, welches sehr gewöhnlich geworden ist. Es ist nicht nöthig, zur Erläuterung der hierbei statthabenden Brechung der Strahlen eine Zeichnung beizufügen, da der Gebrauch des genannten Oculars schon aus §. 162 genugsam erhellt.

Als sehr schickliche Zusammenstellung von Linsen schlägt man folgende vor:

Brennweite des Objectivglases = . . . $\frac{1}{2}$ Zoll,
Brennweite des ersten Augenglases = . . 1 =
Brennweite des zweiten Augenglases = . $\frac{1}{3}$ =

Es wird indessen auf eine ganz genaue Beobachtung dieser Verhältnisse nichts weiter ankommen, wenn nur die Oculare so genommen sind, daß die Brennweite des ersten (des Collectivglases) dreimal so groß ist, als die des zweiten, so wie es in §. 162 vorgeschrieben ist. Das Objectivglas wird planconvex genommen und seine ebene Fläche dem Gegenstande zugekehrt. Seine Brennweite darf nicht zu groß genommen werden, damit das Rohr nicht zu lang werde; daher findet man die Brennweite des Objectivs noch weit kleiner genommen, als $\frac{1}{2}$ Zoll, z. B. $\frac{1}{4}$ Zoll u. s. w. — Die Oculare kann man planconvex machen und ihnen die Stellung §. 162 geben, man kann sie aber auch biconvex machen.

Den Abstand des Auges vom zweiten Oculare findet man leicht durch Versuche; hier braucht bloß eine enge Oeffnung zum Durchsehen gelassen zu werden, weil die Strahlencylinder gar sehr dünn sind.

Wir wollen die eben angegebenen Verhältnisse der Brennweiten der drei Gläser beibehalten und setzen fest, die Vergrößerung solle allgemein m fach seyn. Dann ergibt sich für die Einrichtung des Microscops noch folgendes:

Entfernung des Objects . . . . . $\frac{1}{2} + \frac{8}{m}$ Zoll.

Entfernung des Objectivs vom ersten Ocular $\frac{m}{32}$ Zoll.

Wenn also die Vergrößerung 100fach seyn sollte, so würde der Abstand des Objectivs vom ersten Oculare nur $\frac{m}{32} = \frac{100}{32} = \frac{25}{8} = 3\frac{1}{8}$ Zoll betragen. Eben dieser Abstand würde nur 10 Zoll seyn, wenn die Vergrößerung 320 wäre.

Die Oeffnung des Objectivs berechnet man aus der größten noch zulässigen Undeutlichkeit wegen der Kugelabweichung, die auf gleiche Weise geschätzt wird, wie ich es §. 138 bei Fernröhren erklärt. Wenn die Vergrößerung 112fach und der Halbmesser der Undeutlichkeit 6 bis 7 Secunden betragen soll, so würde die Oeffnung des Objectivs nur $\frac{1}{40}$ Zoll betragen dürfen. Dieses ist freilich wenig, allein man kann die Oeffnung ohne Bedenken größer nehmen und sie am besten durch Versuche bestimmen.

Mitten zwischen die beiden Augengläser kommt eine Blendung zu stehen, deren Oeffnungsdurchmesser $\frac{1}{8}$ Zoll beträgt.

Die Linsen werden in Röhren eingesetzt, die man in einander verschieben kann, namentlich müssen die Oculare ihre Stellung unveränderlich beibehalten und daher in eine besondere Röhre befestigt seyn.

Das Gesichtsfeld beträgt $\frac{8}{m}$ Zoll; also bei einer 100maligen Vergrößerung $\frac{8}{100} = \frac{2}{25}$ Zoll. Ein solches Stück nämlich kann mit dem Microscop auf einmal übersehen werden. Es wird dabei vorausgesetzt, daß die Oculare die rechte Oeffnung haben; man nimmt aber hier ebenfalls, wie bei den Fernröhren,

die Oeffnung eines jeden Oculars seiner halben Brennweite gleich.

Man kann sich auch des in §. 164 beschriebenen Doppeloculars bedienen, wenn gleich durch dasselbe der farbige Rand nicht ganz aufgehoben wird. Das Ramsdensche Ocular § 164 wird gleichfalls mit Vortheil angewandt.

§. 199.

Man hat auch Microscope mit drei Ocularen verfertigt, wodurch der Vortheil erreicht wird, daß man ein größeres Gesichtsfeld erhält. Nach Klügel (Analytische Dioptrik) soll die Einrichtung eines solchen Microscops folgende seyn:

Brennweite des Objectivs . . .	$\frac{1}{2}$	Zoll.
Brennweite des ersten Oculars . .	$\frac{6}{5}$	=
Brennweite des zweiten Oculars . .	$\frac{2}{3}$	=
Brennweite des dritten Oculars . .	$\frac{1}{3}$	=
Die Entfernung des ersten Oculars vom zweiten beträgt	$\frac{8}{15}$	=
Die Entfernung des zweiten Oculars vom dritten	$\frac{1}{6}$	=

Man kann den Gang der Strahlen bei dieser Einrichtung leicht verstehen, ohne eine Zeichnung zu Hilfe zu nehmen; das erste Ocular wirkt nämlich als Collectivglas, indem es die Strahlen, die durch das Objectivglas gegangen, auffängt, ehe sie sich zu einem Bilde vereinigen und dadurch das Bild selbst etwas zurückzieht und verkleinert, gerade so, wie die vordere Linse des Doppeloculars §. 162. Die beiden letzten Oculare wirken wie ein einziges Sammelglas und dienen dazu, das schon vergrößerte Bild zu betrachten und noch mehr zu vergrößern. Sie bilden daher

die eigentlichen Oculare und werden in einer für sich beweglichen Röhre befestigt.

Zwischen dem ersten und zweiten Ocular am Orte des wirklichen Bildes befindet sich eine Blendung, deren Oeffnung $\frac{2}{5}$ Zoll beträgt. Ihr Abstand vom ersten Oculare beträgt $\frac{2}{5}$ Zoll. — Der Abstand des Auges vom letzten Oculare beträgt nahe $\frac{1}{5}$ Zoll.

Wenn man die Vergrößerungszahl = m setzt, so ist bei der obigen Einrichtung

die Entfernung des Objects vom Objectivglase $= \frac{1}{2} + \frac{10}{m}$ Zoll,

die Entfernung des Objectivs vom ersten Oculare . $\frac{m-4}{40}$ Zoll,

das durch das Microscop sichtbare Stück beträgt . . . . $\frac{12}{m}$ Zoll, wenn alle Oculare die rechte Oeffnung haben.

Die Oeffnung des Objectivs bestimmt man wieder durch Versuche. — Der 40ste Theil der um 4 verminderten Vergrößerungszahl gibt den Abstand des Objectivs vom ersten Ocular in Zollen an.

Das Objectivglas wird ebenfalls, wie bei den vorigen Mikroscopen, planconvex genommen und die ebene Seite dem Gegenstande zugekehrt. Die Linsen von der besten Form eignen sich freilich am besten.

§. 200.

Wenn man das Objectiv aus mehreren Converxgläsern zusammensetzen will, so kann man die Verhältnisse der Krümmungen so wählen, daß die Kugelabweichung ein Kleinstes und namentlich kleiner wird, als bei planconvexen Linsen oder bei Linsen von der besten Form. Hierdurch wird es möglich, dem Ob-

jectiv eine größere Oeffnung, unbeschadet der Deutlichkeit, zu geben, wodurch man an Helligkeit gewinnt. Freilich ist dabei die Farbenzerstreuung nicht berücksichtigt; wenn man indessen sich zur Erleuchtung der Objecte eines gleichartigen Lichtes bedient, wie z. B. der monochromatischen Lampe, oder wenn man die schädlichen Strahlen durch Absorbtion beseitigt, so hat man die Farbenzerstreuung weniger zu befürchten.

Nach Klügels analytischer Dioptrik ist die Einrichtung eines aus zwei Sammelgläsern zusammengesetzten Objectivs folgende:

Brennweite der ersten Linse . . .	1	Zoll.	
Halbmesser der vordern Fläche . .	0.80	=	hohl
= = hintern = . .	0.33	=	convex
Brennweite der zweiten Linse . .	$\frac{11}{10}$	=	
Halbmesser der ersten Fläche . .	5.76	=	convex
= = zweiten = . . .	0.67	=	=

Beide Linsen stehen in naher Berührung mit einander.

Die Einrichtung eines aus drei Sammelgläsern bestehenden Objectivs ist nach eben dem Schriftsteller folgende:

Brennweite der ersten (dem Objecte nächsten) Linse . . .	$\frac{3}{2}$	Zoll	
Halbmesser der ersten Fläche	0.559	=	hohl
= = zweiten =	0.333	=	convex
Brennweite der zweiten Linse . .	$\frac{9}{5}$	=	
Halbmesser der ersten Fläche	1.445	=	hohl
= = zweiten =	0.587	=	convex
Brennweite der dritten Linse .	$\frac{39}{20}$	=	
Halbmesser der ersten Fläche	10.225	=	convex
. = zweiten =	1.198	=	=

Die drei Linsen stehen ebenfalls in unmittelbarer Berührung mit einander.

Man kann sogar die Abweichung wegen der Gestalt ganz heben, wenn man das Objectiv aus einem Sammelglase bestehen läßt, das mit einem Hohlglase verbunden ist, selbst dann, wenn beide Gläser aus einerlei Glasart bestehen. Da man aber in diesem Falle lieber das Hohlglas aus Flintglase machen wird, um auch die Farbenzerstreuung zu vermindern oder gar zu heben, so scheint es überflüssig zu seyn, durch zwei Linsen von derselben Glasart die Kugelabweichung heben zu wollen.

§. 201.

Gleich nach der Erfindung der achromatischen Fernröhre schlug Euler vor, auch das Objectivglas des Microscops durch Verbindung einer Flint- und Kronglaslinse zu achromatisiren und von der Kugelabweichung frei zu machen, und es kann keinem Zweifel unterliegen, daß Microscope mit solchen Objectivgläsern vor den gewöhnlichen große Vorzüge besitzen müssen. Eulers Vorschlag, den er mit einer sorgfältigen Rechnung begleitete, blieb indessen lange unbenutzt, weil es schwer war, Linsen von so geringer Dicke und so starken Krümmungen auszuarbeiten, bis es mehreren geschickten Optikern und neuerdings ganz besonders Plößl in Wien gelang, achromatische Objective zu Microscopen zu verfertigen, die eine hinreichend kurze Brennweite haben und ausgezeichnete Wirkungen thun sollen. Etwas Näheres über die beesondere Einrichtung der Plößl'schen Objective kann ich nicht sagen, indessen leuchtet so viel ein, daß man hier Flintglas von der stärksten Farbenzerstreuung wird anzuwenden haben, welches auch in so kleinen Quantitäten, wie hier erforderlich sind, mit Leichtigkeit homogen, ohne Adern oder Wellen wird erhalten werden können. Was die Berechnung der Brennweiten

anlangt und der Krümmungshalbmesser, so wird man ohne großen Irrthum sich der Tafeln bediehen können, die für die Berechnung der Doppelobjective zu Fernröhren gegeben sind; nur muß man die Flintglaslinse dem Objecte zukehren, ohne übrigens in der Lage beider Linsen gegen einander etwas zu ändern. Freilich würde eine Rechnung, bei welcher besonders die Dicke beider Linsen genau in Betracht gezogen würde, nicht am unrechten Orte seyn, damit man nicht genöthigt wäre, die Linsen gar zu dünn zu arbeiten, indessen wird ein geschickter Künstler diese schwierigen Rechnungen durch Versuche und Aenderungen der Krümmungen so lange, bis er seinen Zweck erreicht hat, umgehen können. — Um stärkere Vergrößerungen hervorzubringen, schraubt man auch wohl zwei oder drei Doppelobjective über einander, so daß sie sich fast berühren, und die Deutlichkeit, die man auf diese Weise erhalten kann, soll unerwartet groß seyn, so daß man das Uebereinanderschrauben der achromatischen Objective als einen bedeutenden Fortschritt in der Kunst der Microscope ansehen muß. Es kommt aber hierbei viel an auf die Ordnung, in welcher die einzelnen Objective über einander geschraubt werden, daher von den Künstlern noch besondere Anleitungen hierzu beigegeben sind. — Brewster ist der Meinung, daß die achromatischen Objective bei Microscopen unnütz seyen wegen der Nothwendigkeit, daß man zur Beleuchtung der Objecte gleichartiges, d. h. gleichfarbiges und gleich brechbares Licht anwenden müsse. Ich kann nicht beurtheilen, ob diese Behauptung in aller Strenge gelten darf.

Wir bemerken noch, daß die Kronglaslinse bei solchen Doppelobjectiven auch durch eine Linse aus irgend einem Edelstein bestehen kann, der eine große brechende Kraft und geringes Zerstreuungsvermögen besitzt.

§. 202.

Brewster hat noch andere Mittel vorgeschlagen, achromatische Objective zu Microscopen hervorzubringen und diese Mittel beruhen auf dem Gebrauche sehr stark zerstreuender Flüssigkeiten. In einem Uhrglase CD (Taf. XXXVI. Fig. 2) befindet sich die Flüssigkeit und in dieselbe ist die biconvexe Linse AB getaucht, welche aus Kronglas oder Edelstein besteht. Das Object mn befindet sich auf der Fläche des Uhrglases und wird von der Flüssigkeit bedeckt, ein Umstand, der bei microscopischen Beobachtungen mehr ein Vortheil als ein Nachtheil ist, weil die Beobachtungen gelehrt haben, daß die meisten Objecte durch Microscope besser gesehen werden können, wenn sie mit einer Flüssigkeit übergossen sind. Wenn nun der Krümmungshalbmesser der Linse AB, welcher die Flüssigkeit berührt, richtig genommen ist, so kann die Farbenzerstreuung gänzlich aufgehoben werden. Es mag aber wohl auch ziemlich mühsam seyn, die rechte Krümmung zu treffen. — Brewster sagt, daß es am leichtesten sey, die völlige Farblosigkeit des Bildes herzustellen, wenn die Zerstreuung der Linse AB durch die Flüssigkeit schon mehr als hinreichend vernichtet ist, oder vielmehr, daß nach Vernichtung derselben noch ein Theil von der Zerstreuung der Flüssigkeit vorhanden ist; man tröpfelt allmählich so viel von einer weniger zerstreuenden Flüssigkeit hinein, bis die völlige Farblosigkeit des Bildes erreicht worden ist.

Zur Flüssigkeit empfiehlt Brewster die Antimonbutter und räth die Linse aus Kronglas zu machen, wodurch nicht nur die Farbenzerstreuung gehoben, sondern auch das secundäre Spectrum gänzlich vernichtet würde.

Nicht unvortheilhaft wäre es vielleicht, achromatische Objectivgläser zu Microscopen dadurch hervor-

zubringen, daß man eine stark zerstreuende Flüssigkeit zwischen zwei Sammelgläsern einschließt, die sehr nahe in Berührung stehen, auf ähnliche Art, wie bei den achromatischen Fernröhren, durch flüssige Correctionslinsen §. 158. Vielleicht wäre diese Art, die Farbenzerstreuung des Kronglases zu vernichten, bei Microscopen noch geeigneter, als bei Telescopen.

§. 203.

Einiges über die äußere Einrichtung und den Gebrauch der Microscope.

Die in §. 193 beschriebenen und in Figur 1 Taf. XXXIII. und Fig. 1 rc. Taf. XXXIV. dargestellten Gestelle erschöpfen das Wesentlichste im äußern Bau der Microscope, denn eben diese Gestelle können auch für zusammengesetzte Microscope dienen, wenn man nur statt der einfachen Linse die Röhre des zusammengesetzten Microscops substituirt. Ein wesentliches Erforderniß eines guten Microscops ist immer das, daß man durch eine äußerst sanfte Bewegung die rechte Entfernung zwischen dem Objectivglas und dem Objecte herstellen könne, und dieses läßt sich auf zweierlei Weise bewerkstelligen; entweder kann man nämlich die Röhren des Microscops, also das Objectivglas, bewegen und dem Objecte zuführen, oder umgekehrt den Träger, worauf die Objecte ruhen, dem Objectivglase. Bei schlechten Werkzeugen, die blos zur Unterhaltung dienen sollen, wird die Röhre des Microscops in einer Hülse verschoben, während der Objectträger ruhig steht; aber bei Werkzeugen, welche zu ernsten wissenschaftlichen Zwecken dienen sollen, müssen diese Bewegungen durch Getriebe, die in gezahnte Stangen eingreifen, und die feineren Stellungen durch subtile Schrauben hervorgebracht werden.

In Fig. 3 (Taf. XXXVI.) ist eine schlechtere Art, ein Microscop aufzustellen, vorgestellt. Die Röhre **AB** mit den Linsen ist in einer Hülse **C** gedränge verschiebbar, welche ebenfalls mittels Hülsen, welche durch Schrauben angezogen werden können, bei d und e an einer Stange hängt, die in einem Klotze **K** befestigt ist. An eben dieser Stange ist auf gleiche Weise der Objectträger **D** befestigt, der nach unten einen kurzen röhrenförmigen Fortsatz hat. In dem Objectträger werden mittels eines spiralförmig gewundenen Drahts zwei in der Mitte durchlöcherte Plättchen gegen einander geklemmt, zwischen welchen die Schieber **fg** mit den Objecten (§. 191) hindurchgeschoben werden. Der gläserne Hohlspiegel **L** erleuchtet die Objecte von unten hinauf und muß daher so gestellt seyn, daß sein Brennpunkt nahe auf den Schieber **fg** fällt. Es versteht sich, daß ein Künstler sich Mühe geben wird, dem Ganzen eine gefällige Form zu geben.

Bei vorzüglicheren Werkzeugen ist es nothwendig, daß man sie in jedwede Lage bringen kann, und daher ist die Stange (welche dreieckig seyn kann), an welcher das Microscop und der Objectträger befestigt sind, in einem Charnier beweglich, welches sich am obern Ende eines Pfeilers befindet, der auf drei ebenfalls in Charnieren beweglichen Füßen ruht. An dieser Stange wird das Microscop mittels des Triebrädchens a auf- und abgeschoben, die Röhre des Microscops aber sitzt in der Hülse b fest. An eben der Stange, an welcher das Microscop befestigt ist, sitzt auch das Objectivtischchen (Taf. XXXV. Fig. 4).

Das Objectivtischchen muß so eingerichtet seyn, daß es ein Glasmicrometer, ferner einen Aufsatz mit einem Planglase aufnehmen kann, auf welches man kleine Tropfen einer Flüssigkeit bringt, die man im Microscop untersuchen will, endlich einen noch größern

Aufsatz von zwei Hohlgläsern, zwischen welchen man kleine lebende Thierchen einsperrt. Immer ist es sehr zweckmäßig, wenn eine Klemme angebracht ist, damit die Vorrichtungen, auf welchen die Objecte liegen, in unveränderter Lage festgehalten werden können. Bei vorzüglichen Werkzeugen muß das Tischchen nothwendig die in §. 194 beschriebene Einrichtung haben (Taf. XXXIV. Fig. 1 u. s. w.), damit man nach und nach alle Theile des Objects durch das Sehfeld führen kann. — Die Klemme kann aus einem gabelförmigen Stücke bestehen, welches durch eine Spiralfeder auf die obere Platte des Tischchens gedrückt und durch einen leisen Druck mit dem Finger wieder gehoben werden kann.

Uebrigens sind den besten Microscopen nicht nur verschiedene Objective, sondern auch verschiedene Oculare beigegeben, um die Vergrößerung nach dem Bedürfnisse des Beobachters zu ändern. So kann man bei großen Microscopen die Vergrößerung vom 16fachen bis zum 300fachen, ja wohl bis zum 1000fachen und darüber treiben.

§. 204.

Ein Gegenstand von der größten Wichtigkeit ist die Beleuchtung der durch das Microscop betrachteten Objecte, worauf in der Regel ungemein viel ankommt, ja es ist oft nicht gleichgiltig, ob ein Object im Tageslicht oder im Kerzenlichte gesehen wird; in den meisten Fällen ist letzteres das vortheilhaftere. Durchsichtige Gegenstände werden mittels eines Hohlspiegels, der gemeiniglich aus einem auf der converen Seite foliirten Planglase besteht, von unten erleuchtet, aber bei sehr starken Vergrößerungen pflegt man wohl auch das Licht durch ein Sammelglas zu verdichten, bevor es auf den Hohlspiegel fällt. Der

Hohlspiegel kann an demselben Arm angebracht werden, an welchem das Objectivtischchen und das Microscop sich befinden.

Es ließen sich gar viele besondere Bemerkungen im Bezug auf die Beleuchtung der Objecte aufstellen, allein da sie mehr dem Beobachter angehen, als daß sie zur Construction des Microscops gehören, so müssen sie hier übergangen werden. — Brewster hält es für sehr wesentlich, daß der Beleuchtungsapparat eben so vollkommen seyn soll, als das Sehwerkzeug und empfiehlt daher, daß die Linse oder der Spiegel, welche zum Erleuchten gebraucht werden, frei von der Farben- und Kugelabweichung seyn sollen; auch soll alles fremdartige Licht vom Objecte sowohl, als auch vom Auge des Beobachters ausgeschlossen seyn. Ich glaube nicht, daß die erste Behauptung streng richtig, obgleich die zweite in der Natur der Sache gegründet ist.

Undurchsichtige Gegenstände müssen von oben her erleuchtet werden und hierzu bedient man sich eines Sammelglases, welches so gestellt ist, daß sein Brennpunkt nahe auf das Object fällt. Man kann sich aber auch der prismatischen Linse bedienen, die Selligues in Paris zuerst angegeben hat. Sie besteht aus einem rechtwinklichen dreiseitigen Prisma (Taf. XXXVI. Fig. 5), dessen beide Kathetenflächen kugelförmig abgeschliffen sind und bei welcher, wie wir schon aus §. 104 wissen, die Strahlen, nachdem sie an der einen converen Fläche gebrochen worden, von der Hypothenusenfläche gespiegelt und durch die andere convexe Fläche gewiesen werden. — Diese Linse ist um eine Axe beweglich und kann, nach der Anordnung von Selligues, an der Röhre des Microscops selbst angebracht seyn.

In den Fällen, wo das gewöhnliche Tageslicht hinreichend ist zur Beleuchtung des microscopischen

Gegenstandes, wie z. B. bei schwachen Vergrößerungen, würde die Beleuchtung durch einen Spiegel oder durch eine Linse nur unangenehme Empfindung im Auge erregen. Dann pflegt man die Rückseite des Concavspiegels, welche geschwärzt ist, dem Gegenstande zuzukehren.

§. 205.

Die Beleuchtung bei Nachtzeit kann mittels jeder Lampe oder Kerze geschehen, am liebsten wird man sich der Argand'schen Lampe bedienen. Brewster empfiehlt ganz vorzüglich seine monochromatischen Lampen, d. h. solche, welche nicht, wie das Tageslicht mit den verbundenen Farben des Regenbogens, sondern nur mit einer einzigen Farbe leuchten und dem gemäß Licht ausstrahlen, das durchaus einerlei Grad der Brechbarkeit hat und nicht in verschiedene Farben zerstreut wird. Daß ein solches Licht zur Beleuchtung microscopischer Objecte sehr vortheilhaft ist, leuchtet sogleich ein, denn da fällt ja alle Undeutlichkeit wegen der Farbenzerstreuung selbst bei einfachen Objectiven hinweg und es bleibt nur noch übrig die Kugelabweichung. Würde man aber das Objectiv so einrichten können, daß es frei wäre von den Fehlern der Kugelabweichung, z. B., wenn man ihm eine andere Fläche gäbe, als die sphärische, oder wenn man eine Verbindung zweier Linsen so wählte, daß die Kugelabweichung aufgehoben würde, so würde man mit Hilfe der monochromatischen Beleuchtung sehr vollkommene Microscope, nach Brewster's Urtheil noch vollkommnere, als die mit achromatischen Objectiven haben. Zu diesem Zwecke schlägt Brewster die von John Herschel angegebene Doppellinse vor, wodurch die Kugelabweichung besser gehoben seyn soll, als selbst bei den besten doppelten oder dreifachen Objectiven. Die Herschelschen Doppellinsen bestehen aber

aus einer Linse von der besten Form, verbunden mit einem Meniskus nach folgenden Verhältnissen:

Brennweite der ersten Linse	10.000	
Halbmesser der ersten Fläche	5.833 convex	
Halbmesser der zweiten Fläche	35.000 convex	
Brennweite der zweiten Linse	17.829	oder 5.497
Halbmesser der ersten Fläche	3.688 convex	oder 2.954
Halbmesser der zweiten Fläche	6.291 hohl	oder 8.128 hohl
Brennweite der zusammengesetzten Linse	6.407	oder 3.474.

Die Doppellinse ist Fig. 6 (Taf. **XXXVI.**) abgebildet. Die hohle Fläche wird dem Gegenstande zugekehrt, wenn die Linse als Objectiv eines Microscops gebraucht wird. Beide Linsen bestehen aus derselben Glasart. — Den Grund dieser Rechnung vermag ich nicht anzugeben, da nach den Formeln für die Kugelabweichung zweier Linsen die Abweichung eines Sammelglases nur durch ein dazu gestelltes Zerstreuungsglas gehoben werden kann.

§. 206.

Nach dieser kurzen Abschweifung komme ich wieder zu der monochromatischen Lampe. Brewster machte nämlich die Entdeckung, daß Weingeist, in dem etwas Kochsalz oder Salzsäure aufgelöst worden, blos mit der gelben Farbe brennt, so daß eine solche Weingeistflamme, durchs Prisma betrachtet, ohne farbige Säume erscheint. Er hat aber der monochromatischen Lampe folgende Einrichtung gegeben. **A B** (Tafel **XXXVII.** Fig. 1) ist die Lampe mit ihrer mit ver-

dünntem Alkohol gefüllten Kugel A, welcher allmählig durch die Röhre C in die leichte Schaale von Platina oder anderem Metall tritt und darin brennt. Durch die in eine dunkle Laterne eingeschlossene Weingeistlampe L wird eine heftige Hitze unterhalten und wenn der verdünnte Weingeist sich entzündet, brennt er mit einer ungestümen und starken gelben Flamme. Hierzu ist also kein Kochsalz nöthig, aber wenn die Weingeistflamme nicht vollkommen gelb oder vielmehr nanquinfarbig ist, in Folge eines zu großen Vorhandenseyns von Alkohol, so bringt eine kleine Quantität Salz, in die Schaale D geworfen, eben den Effect hervor, als die fernere Verdünnung des Alkohols. Zuweilen findet sich ein wenig Blau mit dem Gelb vermischt, doch kann dasselbe leicht durch ein Stückchen gelbes Glas absorbirt werden, welches man an eine Stelle des Microscops setzt, durch welche die Strahlen hindurch gehen. Wiewohl dieses Licht im Vergleich mit dem Lichte weißer Flammen schwach ist, so kann man doch mit Hilfe breiter Verdichtungslinsen einen Lichtbüschel erhalten, der hinreichend stark ist für alle microscopischen Beobachtungen.

Eine stärkere Flamme kann man durch den Gebrauch einer Gaslampe erhalten, oder was noch besser ist, einer Gaslampe mit gepreßtem Gas. Wenn dieses Gas in einem starken Strom ausströmt, so explodirt es beim Verbrennen mit atmosphärischer Luft, wobei es viel Hitze und ein schwaches bläuliches und röthliches Licht aussendet. Da die Gewalt des ausströmenden Gases hinreichend ist, die Flamme auszublasen, so wird eine Vorrichtung nöthig, sie zu unterhalten. Um diesen Zweck zu erreichen, wendet Brewster folgende Methode an. (Taf. XXXVII. Figur 2.) PQ ist der Hauptkörper der Lampe, MN der Hauptbrenner und A der Griff, welcher den Haupthahn öffnet. Eine kleine Gasröhre abc, wel-

che mit dem Hauptbrenner communicirt, endigt sich über dem Brenner und hat eine kurze Röhre de, die sich in ihr auf und ab bewegt. Diese Röhre de ist verschlossen bei d und communicirt mit dem hohlen Ringe fg, in welchen vier Oeffnungen gebohrt sind, so daß sie ihre Gasströme in dem Gipfel eines Kegels zusammenwerfen, dessen Grundfläche fg ist. Wenn daher das Gas aus dem Brenner M kommt, strömt es in die Röhre abcdg und tritt bei den Löchern des Ringes fg in vier kleinen Flämmchen aus und die Höhe dieser Flämmchen wird durch den Hahn b regulirt. Die explodirende Mischung von Luft und Gas, welche bei M ausströmt und durch den Ring geht, wird in Verbrennung erhalten durch die kleinen Flämmchen, durch welche sie hindurch muß. Ein breites Band aus grobem baumwollenen Dochte, das vollkommen in einer gesättigten Kochsalzauflösung genetzt ist, ist an einem Ringe h befestigt, und wenn die bläuliche Flamme der explodirenden Mischung über h aufsteigt, wird sie durch das salzgetränkte Docht in eine starke Masse gleichartigen gelben Lichts verwandelt. Statt des baumwollenen Dochts kann man einen hohlen Cylinder von Schwamm mit zahlreichen vorragenden Troddeln gebrauchen, oder sich eines Dochts von asbestenem Tuche bedienen.

Wenn die wenigen blauen Strahlen, welche sich mitunter mit dem gelben Lichte mischen, absorbirt werden, so wird ein jeder Theil des Lichts eine bestimmte Brechbarkeit besitzen, die größer ist, als die eines andern künstlich erzeugbaren Lichts. Die kleinsten Objecte und die kleinste Schrift erscheint vollkommen deutlich in diesem Lichte, wenn man sie in diesem Lichte durch ein Prisma betrachtet, dessen brechender Winkel und dessen Zerstreuungskraft noch so groß ist, was einen unumstößlichen Beweis von der vollkommenen Gleichartigkeit dieses Lichts abgibt.

Eine andere Methode, die microscopischen Objecte mit gleichartigem Lichte zu erleuchten, besteht darin, daß man das Tageslicht durch gefärbte durchsichtige Mittel gehen läßt. Brewster betrachtete mittels seiner ringsum ausgeschliffenen Kugel zwei in Schwefelsäure liegende, einander bedeckende Schuppen einer Motte. Im Sonnenlichte strahlten die Räume zwischen den Säumen mit allen Farben des Regenbogens, aber wenn eine etwas dicke Platte aus rothem Glimmer mit einer Glasplatte verbunden unter das Object gebracht wurde, so verschwanden alle Farben augenblicklich und das Object wurde deutlich gesehen.

Endlich kann man auch gleichartiges Licht durch das Prisma hervorbringen.

§. 207.

Methoden, die Vergrößerung eines Microscops durch Versuche zu finden.

Es sind mancherlei Vorschläge vorhanden, die Vergrößerung eines Microscops durch Versuche zu bestimmen, aber die meisten gewähren eher eine bloße Schätzung, als genaue Messung. So z. B. kann man von zwei gleich großen Körpern (Linien) die eine unter dem Microscop und zugleich die andere mit bloßem Auge betrachten und so durch Vergleichung beider scheinbarer Größen die Vergrößerung des Microscops finden. Man sieht aber leicht, daß dieses Verfahren selbst bei vieler Uebung keine genauen Resultate geben kann.

Nach einer andern Methode bedient man sich der Plangläser, auf welche sehr feine parallele Linien in engen Zwischenräumen mit einer Diamantspitze neben einander gezogen sind. Ein solches Glas bringt man unter das Microscop, gleichsam wie ein zu betrachtendes Object und zählt, wie viel Linien man im

Gesichtsfelde neben einander sehen kann. Dann untersuche man auch, wie viel Linien auf den Durchmesser der letzten Blendung gehen, wo das Bild sich befindet. So viel mal die erste Zahl in der andern enthalten ist, so viel mal vergrößert das Microscop, ohne das letzte Ocular, durch welches eigentlich das Bild betrachtet wird und welches einfach oder doppelt seyn kann. Diese Vergrößerungszahl muß nun noch mit der Vergrößerung des letzten Oculars multiplicirt werden, um die Vergrößerung des ganzen Microscops zu erhalten. Gesetzt, man übersehe im Microscope 5 Striche der Glasscheibe, während 50 auf den Durchmesser der letzten Blendung gehen, so findet eine 10malige Vergrößerung statt ohne Mitwirkung des letzten Oculars, und wenn dieses 20 mal im Durchmesser vergrößert (vergl. §. 195), so ist die Vergrößerung $10 \times 20 = 200$fach.

Eine viel vorzüglichere und für die Anwendung eben so genaue als bequeme Methode hat von Jaquin vorgeschlagen. Er bedient sich hierzu der Sömmering'schen Spiegelchen und verfährt dabei auf folgende Art. Auf einem einfachen hölzernen Gestelle, dessen horizontale Tafel aa (Taf. **XXXVIII**, Fig. 1) groß genug ist, jedes Microscop so darauf zu stellen, daß der Mittelpunkt der Ocularlinse 8 Zoll von dem vertikal aufgerichteten Schirme bb entfernt bleibt, wird das Microscop genau in dieser Entfernung des Oculars vom Schirm aufgestellt. Der Reflexionsspiegel p des Microscops wird durch eine zur Seite stehende Lampe d beleuchtet und ein Planglas mit den vorhin erwähnten Parallellinien auf dem Objectivtische q zur deutlichen Ansicht gebracht. Wir nehmen an, daß auf diesem Glase durch die Parallelstriche die Pariser Linie in 30 Theile getheilt sey. Dem Ocular gegenüber befindet sich an dem Schirme bb ein Blatt dickes glattes Kartenpapier, das in den

an beiden Rändern des Schirms angebrachten Falzen sich höher oder tiefer schrauben läßt, um den Höhen verschiedener Microscope angepaßt zu werden. Auf diesem geschwärzten Kartenpapiere sind mit weißer Farbe eine Anzahl horizontaler, feiner, paralleler Linien gezogen, deren je zwei nächste genau um eine Pariser Linie abstehen. Dieser Maasstab e e wird durch eine seitwärts stehende, mit einem Reflexionsschirme versehene Lampe f beleuchtet, die ebenfalls erhöht und erniedrigt werden kann, um dem beweglichen Maasstab immer gegenüber zu stehen. Dann wird an dem Ocularapparate des Microscops der Sömmering'sche Spiegel h mit seinem Ring und Stellschrauben befestigt und das Spiegelchen k an der Stelle des Auges unter einem Winkel von 45 Graden gegen das Auge so gestellt, daß das Bild des Objeets, nämlich der auf dem Objectivtische q liegenden Glasplatte, in die Mitte des Spiegels k fällt, und daß dieses Object mit dem Auge des Beobachters genau eben so in dem Spiegelchen k, als unmittelbar durch das Ocular gesehen wird. Da man nun mit demselben Auge zugleich den Maasstab e e an dem Schirme in der normalen Sehweite so sieht, als läge das Bild der Parallellinien der Glasplatte, das man in dem Spiegel k sieht, genau auf jenem Maasstabe, so lassen sich, wenn man durch Drehen der Glasplatte die Linien derselben mit den Linien des Maasstabs e e parallel gestellt hat, diese zwei Theilungen des Planglases und des Maasstabs genau vergleichen und daraus die Vergrößerungszahl m leicht bestimmen. Da nämlich jede Abtheilung des Maasstabs eine Pariser Linie beträgt und da auf dem Planglase jede Pariser Linie in 30 Theile getheilt ist, so ist jede Abtheilung des Maasstabs gleich 30 Abtheilungen des Planglases. Wenn daher z. B. eine Theilung des Planglases, d. i. $\frac{1}{30}$ Pariser Linie, genau

einer vollen Theilung des Maasstabs, 1 Pariser Linie, gleich gesehen wird, so ist die Vergrößerung im Durchmesser 30fach. Wenn aber 3 Theile des Planglases 4 Theile des Maasstabs decken, d. i. $\frac{3}{30}$ oder $\frac{1}{10}$ Linie so groß erscheint, als 4 Linien, so ist die Vergrößerung 40fach und überhaupt, wenn a Theile des Planglases b Theile des Maasstabs decken, so ist die Vergrößerung

$$\frac{30\,b}{a} \text{ fach.}$$

Für die Beleuchtung des Planglases mit den Parallelstrichen sowohl, als auch des Maasstabs muß dabei Sorge getragen werden, daß beide nicht nur hell genug, sondern auch gleichmäßig erhellt scheinen. Das Auge des Beobachters wird man leicht durch einen schief angebrachten Schirm vor Blendung des Lichts f schützen können. Am besten wird man diese Untersuchung bei der Nachtzeit vornehmen, da man bei Tage das Licht der Sonne nicht so in seiner Gewalt hat. Die Theilung des Planglases muß so eingerichtet seyn, daß wenigstens immer ein Intervall dieser Theilstriche ganz im Sehfelde des Microscops sichtbar ist. Bei sehr starken Vergrößerungen wird man also wohl solche Glasplatten anwenden, auf welchen die Pariser Linie in 60 oder 100 gleiche Theile getheilt ist. Auf diese Weise läßt sich auch die Vergrößerung der Spiegelmicroscope und der einfachen Linsen bestimmen.

§. 208.

Von den Micrometern bei Microscopen.

Unter **Micrometern** versteht man Vorrichtungen, durch welche man die wahre Größe eines kleinen Objects genau messen kann. Hierzu bedient man sich einmal des im vorigen §. erwähnten Planglases mit

feinen Parallellinien, die von geschickten Künstlern, z. B. von Frauenhofer und Plößl, so fein und so eng neben einander gezogen sind, daß deren 2000 auf einen Zoll gehen. Sie werden mit der Gravirung nach oben gerichtet, auf den Objectivtisch gelegt und nun sucht man zuerst mit einer der schwächern Vergrößerungen ihre zweckmäßige Lage und Beleuchtung durch Drehung des Micrometers und des Illuminationsspiegels, und nun erst geht man bei unverrückter Lage des Instruments zu den stärkern Vergrößerungen über.

Eine der einfachsten Anwendungen dieser Micrometer besteht in der Messung des Durchmessers des Sehfelds bei verschiedenen Vergrößerungen des Microscops. Ist das Intervall zwischen zwei nächsten Theilstrichen des Micrometers z. B. $\frac{1}{100}$ einer Pariser Linie und sieht man, daß 250 solcher Intervallen auf den Durchmesser des Sehfelds gehen, so beträgt dieser Durchmesser 2.5 oder $2\frac{1}{2}$ Linien.

Um dann mittels einer solchen Glastafel den Durchmesser eines Objects zu messen, pflegen viele Beobachter das zu messende Object auf diese Glastafel zu legen und durch das Microscop zuzusehen, wie viel Intervallen der Tafel das Object einnimmt. Da aber bei einem solchen Verfahren die Tafel und das Object nicht in derselben Entfernung vom Auge abstehen, so kann man nicht leicht beide zugleich gut sehen, auch sind bei undurchsichtigen Gegenständen einzelne Theile auf diese Art nicht leicht zu bestimmen, und endlich leidet bei flüssigen Objecten das Micrometer, indem es dadurch verunreinigt wird.

Besser wird man verfahren, wenn man dabei wieder der im vorigen §. beschriebenen Vorrichtung sich bedient. Man projicirt nämlich auf die so eben beschriebene Weise das Bild des Objects in dem Spiegel auf den Maasstab auf dem Schirme bb und bestimmt dadurch unmittelbar die Dimensionen des Ob-

jects. Die Anzahl der Linien, welche das Bild einnimmt, dividirt man durch die Vergrößerungszahl und so erhält man die wahre Größe des Objects. Zeigt sich z. B. das Bild 3 Pariser Linien groß und vergrößert das Microscop 40 mal, so ist der wahre Durchmesser des Objects gleich $\frac{3}{40} = 0.075$ Pariser Linie.

Eine andere Methode, durch solche Micrometer die Dimensionen der Objecte zu bestimmen, setzt zwei einander ganz gleiche Micrometer dieser Art voraus. Das eine derselben wird, nach abgeschraubter Ocularlinse, auf das zwischen derselben und dem Collectivglase befindliche Diaphragma gelegt, so daß die Gravirung abwärts oder gegen das Objectiv gerichtet ist (zu diesem Zwecke trägt das Diaphragma gewöhnlich einen eignen Falz, damit das Micrometer sich nicht verschieben kann). Dann legt man auch das zweite Micrometer gleichsam als ein Object auf das Objectivtischchen und bestimmt dann genau, wie sich die Intervalle beider Micrometer gegen einander verhalten. Ist z. B. bei dem obern Micrometer die Par. Linie in 30 und bei dem untern in 60 Theile getheilt und deckt in dem Microscop ein Theil des untern genau einen Theil des obern, so wird begreiflich das untere Micrometer im Verhältniß 30 zu 60, d. i. 2 mehr vergrößert, als das obere; oder, wenn beide Micrometer ganz gleich getheilt sind und es findet sich, daß ein Theil des untern gerade 5 Theile des obern deckt, so wird das untere 5 mal mehr vergrößert, als das obere und es vergrößert daher, da das obere Micrometer blos durch das Ocular und eben so vielmal vergrößert wird, als das Bild des untern, das ganze Microscop 5mal mehr, als das bloße Ocular. Befindet sich nun auf dem Objectivtische statt des Micrometers ein Object, welches durch das Microscop gesehen, 3 Felder des obern

Micrometers einnimmt, so wird die wahre Größe des Objects $\frac{2}{5}$ eines Feldes betragen. Man sieht nämlich auf dem Micrometer nichts Anderes, als das 5mal größere Bild des Objects. Da nun hier das Object sowohl, als auch das obere Micrometer genau in der gehörigen Sehweite stehen, so kann diese Messung, wie man sieht, sehr genau seyn und eben so gut für durchsichtige, als für undurchsichtige Gegenstände angewendet werden. — Man muß aber, ehe man zur Messung schreitet, das letzte Ocular so stellen, daß man die Linien des obern Micrometers genau sieht.

§. 209.

Das Schraubenmicrometer ist unter allen Vorrichtungen, sehr kleine Objecte zu messen, das vorzüglichste, besonders wenn es diejenige Einrichtung hat, die ihnen in den letzten Zeiten Frauenhofer und Plößl gegeben haben. Der letztere Künstler hat eine wesentliche Verbesserung daran angebracht, die in einer quer unter dem Objectivtische hinlaufenden feinen Schraube besteht, durch welche der ganze Objectapparat in der Richtung der Schraube sehr langsam hin und her geschoben werden kann. An der Spitze dieser Micrometerschraube ist eine Scheibe befestigt, deren Rand in 100 gleiche Theile getheilt ist und mit Hilfe eines Nonius sich in 1000 Theile theilen läßt, so daß man also tausendste Theile von einer Schraubenumdrehung ablesen kann. Außerdem ist neben der Axe eine Vorrichtung angebracht, an welcher man sehen kann, wie viel mal die Micrometerschraube ganz herumgedreht worden ist. Im Brennpunkte des letzten Oculars wird auf der Blendung ein dünnes Planglas befestigt, worauf mit Diamant zwei höchst feine sich senkrecht durchkreuzende Linien gezogen sind, oder auf einem Ringe zwei sich senkrecht schneidende Spinne-

fäden. Diese Linien werden entweder durch eigne, an dem Ocular angebrachte Stellschrauben oder durch Drehung des ganzen Oculars so gestellt, daß eine mit der Axe der Micrometerschraube parallel läuft. Vor allem muß nun die Fortrückung, die bei einer Umdrehung der Micrometerschraube stattfindet, durch Versuche gefunden werden. Zu diesem Zwecke wird ein Glasmicrometer unter das Microscop bei einer mäßigen, z. B. 100fachen Vergrößerung gebracht und mittels der Micrometerschraube so gestellt, daß die senkrechte Linie des Kreuzes im Oculare genau auf eine Linie des Micrometers nahe am Rande des Sehfeldes fällt; dann wird etwa mit Hilfe einer Loupe nachgesehen und aufgeschrieben, wie die Scalen der Micrometerschraube stehen. Dann bewegt man die Micrometerschraube durch Drehen, bis die senkrechte Linie des Kreuzfadens genau die äußerste Linie des Micrometers am andern Rande des Sehfeldes deckt. Darauf bemerkt man zuerst den Raum, welchen die Linie des Kreuzfadens auf dem Glasmicrometer durchlaufen hat und untersucht den nunmehr eingetretenen Stand der Scalen an der Micrometerschraube, und wenn man den Unterschied dieser Lesung und der vorigen sucht, so erhält man die Tausendtel eines Schraubengangs, um welche die Schraube umgedreht worden ist. Dividirt man nun mit der Zahl dieser Tausendtel in die durch das Glasmicrometer bestimmte Fortrückung, so zeigt der Quotient an, um wiel die Schraube bei dem 100sten Theile ihrer Umdrehung fortrückt. Zur größern Sicherheit wiederholt man dasselbe Verfahren mit mehrern Stellen der Schraube und nimmt dann aus allen Resultaten das Mittel, indem man die Summe aller Resultate mit ihrer Anzahl dividirt. Eine Tabelle, welche die Vielfachen dieser Tausendtel und ihre entsprechenden Werthe in Theilen des Zolles angibt, wird den Gebrauch eines solchen Micrometers sehr er-

leichtern. Will man dann einen Gegenstand messen, so bringt man ihn unter das Microscop und stellt ihn mit dem einen Rande ganz scharf an die auf der Axe der Micrometerschraube senkrechte Linie des Kreuzfadens, bemerkt den Stand der Scalen, bewegt dann die Schraube, bis die Kreuzlinie den andern Rand des Gegenstandes genau trifft und liest wieder die Scale ab; die Differenz beider Lesungen gibt dann in jener Tafel sofort den gesuchten Durchmesser des Gegenstandes in Theilen des Zolles oder der Linie. Ist z. B. der Werth eines Tausendtheilchens des Schraubenganges = 0.000142 Pariser Linien und hat man gefunden, daß der Durchmesser des Objects 296 solcher Theile beträgt, so ist dieser Durchmesser = 0.000142 × 296 = 0.04203 Linien.

§. 210.

Die Spiegelmicroscope.

Wir haben in §. 46 gesehen, daß, wenn ein Object vor einem Hohlspiegel in dessen Brennpunkte steht, die Strahlen parallel zurückgeworfen werden, und daß daher ein Auge, welches durch Parallelstrahlen deutlich zu sehen vermag, ein aufrechtes Scheinbild des Gegenstandes erblicken muß. Dieses Scheinbild wird zugleich vergrößert gesehen und zwar um so mehr, je geringer die Brennweite des Spiegels ist. Hiernach ließe sich auch der einfache Hohlspiegel wie ein einfaches Vergrößerungsglas gebrauchen, allein da die Brennweite des Spiegels nur gering seyn kann, so wird es unmöglich, den Gegenstand gehörig zu beleuchten. Man bedient sich vorzüglich eines kleinen Hohlspiegels, wenn man Theile des eigenen Auges vergrößert sehen will.

Stephan Gray wandte ein sehr sinnreiches Verfahren an, um sich aus Quecksilber Hohlspiegel zu

verschaffen, auf ähnliche Weise, wie er sich aus Wasser sehr vergrößernde Linsen verschaffte. Er löste ein kleines Kügelchen Quecksilber in Salpetersäure auf, welche mit 10 Theilen Wasser verdünnt war und benetzte damit die innere Fläche eines Ringes A (Tafel XXXVIII. Fig. 2), um ihr einen Quecksilberüberzug zu geben. Dieser Ring bestand aus Kupfer und war ungefähr $\frac{1}{30}$ Zoll dick und seine Weite im Lichten betrug nicht über $\frac{2}{5}$ Zoll. Nachdem that er einen Tropfen reines Quecksilber in den Ring und hatte, nachdem der Schmuz von der Oberfläche des Quecksilbers mit einem Hasenfuße weggenommen worden, einen Hohlspiegel; indem das Quecksilber in Folge seiner Schwere niedersank. Diesen Hohlspiegel legte er auf den hohlen Cylinder B, welcher auf einen Pfeiler aufgeschraubt war, der in dem Klotze d feststand. Der Objectträger ECFG kann auf- und abgeschraubt werden, um das Object in den Brennpunkt des Hohlspiegels zu bringen.

§. 211.

Weit wichtiger sind die zusammengesetzten Spiegelmicroscope geworden, wozu Newton den Grund legte. Wir haben schon in §. 48 gesehen, daß Hohlspiegel Luftbilder entwerfen, wenn das Object weiter vom Spiegel absteht, als der Brennpunkt und und diese Bilder stehen um so weiter vom Spiegel ab, je näher das Object an den Brennpunkt anrückt, werden aber auch in dem Maase, als ihr Abstand größer ist, als der des Objects, vergrößert. Demnach sey MN (Taf. XXXVII. Fig. 3) ein Hohlspiegel und a ein Object, das nahe am Brennpunkte steht, so wird durch die vom Spiegel reflectirten Strahlen bei A ein vergrößertes umgekehrtes Luftbild entstehen, und wenn man dasselbe mit dem einfachen

oder zusammengesetzten Ocularen **B** betrachtet, so hat man das Newton'sche Spiegelmicroscop. Das von dem Hohlspiegel erzeugte Bild ist frei von den Fehlern der Farbenzerstreuung und die Abweichung wegen der Kugelgestalt ist nur gering, so daß in dieser Hinsicht das Spiegelmicroscop vor dem mit einer Objectivlinse große Vorzüge hat. Aber dagegen besitzen alle Spiegel einen großen Lichtmangel und es hält immer schwer, das Object gehörig zu erleuchten, abgesehen davon, daß es sich nicht bequem genug vor dem Spiegel befestigen läßt.

Die Vergrößerung eines solchen Spiegelmicroscops wird eben so berechnet, wie die des zusammengesetzten Microscops (§. 195) mit einer Objectivlinse, nur daß man statt der Brennweite der Linse die des Spiegels setzt.

§. 212.

Was die Schwierigkeit der Beleuchtung betrifft, so hat Potter in England diesem Uebelstande abgeholfen durch die in Fig. 4 (Taf. **XXXVII.**) dargestellte Einrichtung, wo **A** der Objectivspiegel, **B** das Augenglas ist. Um das in w befindliche undurchsichtige Object zu beleuchten, ist in die Röhre eine etwas weite cirkelrunde Oeffnung **a b c** geschnitten, die sich zwischen dem Object und dem Spiegel befindet und damit nicht das von den Seiten der Röhre reflectirte Licht der Deutlichkeit schadet, so wird die Röhre innen, so weit Lichtstrahlen auf sie fallen können, mit schwarzem Sammet überzogen, wodurch alles auffallende Licht gänzlich absorbirt wird. Potter fand es vortheilhaft, das Licht durch die Sammellinse **d** zu verdichten. Um durchsichtige Objecte zu beleuchten, wandte er die in **e** ersichtliche Sammellinse an, deren Lichtkegel von dem kleinen Planspiegel auf das Object reflectirt wird. Dieser Spiegel, der

unter einem Winkel von 45 Grad gegen die Axe des Rohrs geneigt ist, braucht nur eine geringe Größe zu haben, so daß er nur einen sehr geringen Theil von der Fläche des Objectivspieges A unnütz macht. Durch Hilfe beweglicher Deckel kann man die Oeffnung a b c und die Linse e verdecken und dadurch beim Gebrauch der einen oder der andern alles fremde Licht ausschließen. Potter befestigt seine Objecte an die dünne Nadel a, die in der hölzernen Handhabe h steckt und diese Nadel geht durch einen in einem kleinen Stückchen Kork befindlichen Schlitz, welches an dem verschiebbaren Stück g sich befindet, womit zugleich die Linse e und der Planspiegel p zusammenhängt, so daß man das Ganze durch den kleinen mit der Kurbel i zusammenhängenden Arm i bewegen kann. Die richtige Entfernung des Objects vom Focus des Spiegels erhält man durch Drehen einer Nuß an dem Zapfen, woran die Kurbel befestigt ist.

Wenn der Spiegel sphärisch ist, so kann seine Oeffnung ein gewisses Maas nicht überschreiten, damit die Kugelabweichung nicht merklich wird. Daher hat man den Hohlspiegeln zu Microscopen eine elliptische Krümmung zu geben gesucht, bei welcher alle die Strahlen, welche aus dem einen Brennpunkt a (Taf. XXXVII. Fig. 3) der Ellipse kommen, genau im andern Brennpunkt A wieder zusammen kommen. Da demnach bei solchen Spiegeln keine Abweichung stattfindet, so können sie auch eine sehr große Oeffnung vertragen. Potter bediente sich eines Spiegels von $1\frac{1}{2}$ Zoll Brennweite mit der sehr großen Oeffnung von 1 Zoll; dieser Spiegel kann also nicht sphärisch gekrümmt seyn, sondern muß die elliptische Form haben. Der Abstand des Bildes vom Objecte beträgt 12 bis 14 Zoll, so daß das Bild 9 bis 11 mal größer ist, als das Object.

§. 213.

Am meisten in Gebrauch gekommen ist das Spiegelteleſcop von Amici, dessen Einrichtung aus Fig. 5 (Taf. XXXVII.) ersichtlich ist. MN ist der sphärische, oder noch besser elliptische Hohlspiegel, der ein Bild des vorgehaltenen Objects in F entwirft und B ist das Augenglas, durch welches das Bild betrachtet wird. Das Object befindet sich außerhalb der Röhre bei O und sendet seine Strahlen durch die Oeffnung mn in das Rohr hinein, wo sie von dem unter 45° gegen die Axe des Rohrs geneigten Planspiegel st aufgefangen und auf den Objectivspiegel MN geworfen werden. Die Lichtstrahlen scheinen daher von dem Punkte a auf den Spiegel MN zu fallen, welcher eben so weit hinter dem Planspiegel st liegt, als das Object O vor demselben.

Bei diesem Microscop ist nichts weiter zu berechnen, als die Größe des Planspiegels st. Zu diesem Behufe zeichnet man ein gleichschenkliges Dreieck MNa, dessen Höhe der Brennweite des Spiegels gleich ist, nimmt auf der Höhe die Länge av = vO, nämlich der ungefähren Entfernung des Objects von der Axe des Rohrs gleich und zieht durch v die Linie st, welche unter 45° gegen die Axe des Rohrs geneigt ist; die Linie st gibt die größte Breite des elliptischen Planspiegels an, während die kleinste Breite desselben sich durch den senkrechten Durchschnitt xy des Dreiecks MaN ergibt. Man kann indessen und muß sogar den kleinen Spiegel etwas größer machen, als sich aus der angeführten Zeichnung ergibt. — Daß aber der Planspiegel wenigstens diese Größe haben müsse, ergibt sich daraus, weil die von a nach dem Rande des Spiegels MN gezogenen Strahlen wie aM, aN auch den kleinen Spiegel treffen müssen.

Hierbei geht immer ein gutes Theil der Strahlen, welche vom Spiegel MN zurückgeworfen werden, wegen des im Wege Stehens des Planspiegels st verloren. Wir wollen z. B. annehmen, es betrage die halbe Oeffnung des Hohlspiegels MN $\frac{1}{4}$ Zoll, also die ganze Oeffnung $\frac{1}{2}$ Zoll, so wird vO größer seyn müssen, als $\frac{1}{4} = 0.25$ Zoll, wir wollen setzen $\frac{1}{2}$ Zoll; dann wird auch va $= \frac{1}{2}$ Zoll, und wenn wir die Brennweite des Spiegels MN $= 1$ Zoll setzen, so wird xy $=$ der Hälfte von MN, also $= \frac{1}{4}$ Zoll. Der kleine Spiegel bedeckt also in der Mitte des Hohlspiegels einen Kreis, dessen Durchmesser die Hälfte vom Durchmesser des letztern ist, so daß gerade der vierte Theil von der Fläche des Hohlspiegels unnütz wird. Leider ist dieser verdeckte Theil gerade der beste Theil vom Spiegel.

Der Optiker Cuthbert in London, der bedeutendste nach Amici, hat Spiegelmicroscope unter Goring's Anleitung verfertigt. Die Hohlspiegel haben 2 bis $\frac{3}{10}$ Zoll Brennweite und dabei die kleinern eine Oeffnung, welche der Brennweite gleich ist. Die kleinern Spiegel können nur für durchsichtige Objecte gebraucht werden, weil der Objectträger hart an das Rohr gestellt wird. Die Einrichtung des Microscops ist die in Tafel XXXIX. Figur 1 dargestellte. Bei a ist die Hauptröhre des Microscops, d ist die Ocularröhre, in welcher bei e ein Ocular nach §. 164 befestigt ist. Die Focallängen der innern Linsen des Oculars, deren gewöhnlich drei sind, sind $\frac{3}{4}$, $\frac{3}{8}$ und $\frac{3}{16}$ Zoll. Das Ganze ruht auf einem Pfeiler und ist in einem Charniere beweglich, um dem Instrument jedwede Neigung geben zu können. Die Röhre, in welcher die Spiegel befestigt sind, ist bei bc zu sehen.

Die dreieckige Stange, welche den Erleuchtungsspiegel, das Objectivtischchen und die Vorrichtung zur richtigen Stellung des letztern trägt, ist bei f zu se-

hen; sie ist an die Röhre des Microscops gelöthet. Der Spiegel k ist auf einer Seite eben und hat auf der andern einen Ueberzug von Gypsmörtel. Das Objectivtischchen l ist eine Verbindung von einem Stangen- und Schraubenwerk, das durch zwei concentrische Rädchen bei m getrieben wird. Durch das kleinere Rädchen wird das Object in der Richtung der Röhre bewegt, durch das andere in der entgegengesetzten Richtung. Das Objectivtischchen kann ausgehoben werden mittels des Klötzchens q, an welchem die Adjustirschraube i zur Herstellung des deutlichen Sehens und die Befestigungsschraube h sich befinden.

Für das reflectirende Microscop ist folgende Reihe von Spiegeln gemacht.

No.	Brennweite.	Oeffnungswinkel *).	Abstand des Objects von der Seite des Rohrs.
1	2 Zoll	$13\frac{3}{4}$ Grad	$\frac{1}{2}$ Zoll
2	1 =	$18\frac{1}{3}$ =	$\frac{1}{5}$ =
3	$\frac{6}{10}$ =	$27\frac{1}{2}$ =	$\frac{1}{10}$ =
4	$\frac{4}{10}$ =	$36\frac{1}{2}$ =	$\frac{1}{20}$ =
5	$\frac{3}{10}$ =	$41\frac{1}{4}$ =	0 =
6	$\frac{3}{10}$ =	55 =	0 =

Die längern Brennweiten werden für durchsichtige und undurchsichtige Objecte gebraucht; die kürzern können nur für durchsichtige Objecte dienen, da der Abstand des Objectträgers von der Röhre zu gering ist, um undurchsichtige Objecte zu beleuchten.

§. 214.

Brewster hat gegen die Einrichtung des Spiegelmicroscops nach Amici mehrere allerdings nicht un-

*) Der Winkel an der Spitze des gleichschenkligen Dreiecks, dessen Grundlinie die Oeffnung des Spiegels und dessen Höhe der Brennweite gleich ist.

gegründete Einwendungen gemacht, worunter der vielleicht der gegründetste ist, daß durch den Gebrauch der Spiegel mehr als die Hälfte des ganzen Lichts verloren geht. Er schlägt daher eine andere Einrichtung vor, die aus Fig. 3 (Taf. **XXXVIII.**) ersichtlich ist. Hier ist **ABC** die Hauptröhre des Instruments, welche mit ihrem untern Ende **C** in den horizontalen Arm **DE** des Gestelles eingeschraubt ist. Die Linsen **A** und **B** bilden ein achromatisches Ocular. In das untere Ende **C** der Röhre ist die kleine Röhre **abcd** mit dem sphärischen oder elliptischen Objectivspiegel **cd** eingeschraubt, der seine hohle Seite aufwärts kehrt und durch dessen Mitte ein sehr enges Loch gebohrt ist. Zwischen dem Hohlspiegel und seinem Brennpunkt ist an dem Arme **b** der Planspiegel **s** befestigt, welcher etwas größer ist, als das Loch des Objectivspiegels und seine spiegelnde Oberfläche, die gegen die Axe des Rohrs senkrecht ist, dem Objectivspiegel zukehrt. Das Object **mn** sendet nun seine Strahlen durch das Loch des Objectivspiegels **cd** auf den Planspiegel **s** und dieser wirft sie auf den Objectivspiegel zurück, so daß sie aus **r** zu kommen scheinen, welcher Punkt etwas weiter vom Spiegel **cd** absteht, als dessen Brennpunkt, wenn er sphärisch ist, oder gerade in den Brennpunkt fällt, wenn er elliptisch ist. Hiernach ergibt sich leicht die ganze übrige Einrichtung des Instruments und man sieht, daß dasselbe mit eben der Bequemlichkeit gebraucht werden kann, wie ein Microscop mit einer Objectivlinse. — An die Rückseite des Objectivspiegels kann ein Hohlspiegel **kh** angeschraubt werden, der zur Erleuchtung dunkler Objecte von oben gebraucht werden kann, oder man kann auch den Objectivspiegel dick machen und ihn auf beiden Seiten schleifen und poliren, so daß die eine Seite zur Vergrößerung, die andere zur Erleuchtung der Objecte dient.

Freilich leidet diese Vorrichtung immer noch, wie die von Amici, an Lichtmangel, und um diesem so viel als möglich abzuhelfen, schlägt Brewster endlich vor, das Object mn (Taf. **XXXVIII.** Fig. 4), wie bei Amicis Spiegelmicroscope zur Seite der Röhre, aber schief zu stellen und die Strahlen durch ein achromatisches Prisma (§. 72) so auf den Objectivspiegel zu brechen, als kämen sie aus dem Punkte r der Axe, der etwas weiter vom sphärischen Objectivspiegel entfernt ist, als dessen Brennpunkt.

§. 215.

Sonnen- und Lampenmicroscope.

Das Sonnenmicroscop ist nichts anderes als eine Art Zauberlaterne, nur mit dem Unterschiede, daß statt des Lampenlichts das Sonnenlicht gebraucht wird. Aus Fig. 2 (Taf. **XXXIX.**) kann die Einrichtung eines Sonnenmicroscops im Allgemeinen deutlich werden. Das Hauptstück ist ein Sammelglas **CD** von sehr kurzer Brennweite, z. B. ½ Zoll, welches, wie wir schon mehrmals gesehen haben, ein umgekehrtes und vergrößertes Bild des Gegenstands **ab** zu entwerfen vermag, wenn derselbe nur um ein Geringes weiter von der Linse **CD** absteht, als deren Brennpunkt. Dieses Bild wird nun in einem verfinsterten Zimmer auf einer weißen Wand oder auch auf einem Schirme aufgefangen. Allein wenn man sich zur Erleuchtung des Objects **ab** des bloßen Tageslichts bedienen wollte, so wie es gerade darauf fällt, so würde die Helligkeit des Bildes selbst bei nur geringen Vergrößerungen so schwach werden, daß man gar nichts erkennen könnte und es macht sich darum nöthig, die Objecte ungemein stark zu beleuchten. Hierzu bedient man sich des Sonnenlichts, welches man mittels eines Planspiegels **MN**, der entweder durch ein Heliostat,

oder durch bloßes Drehen mit der Hand in die richtige Stellung gebracht wird, auf die Sammellinse AB leitet, welche die concentrirten Sonnenstrahlen auf das Object ab bricht und dasselbe stark beleuchtet. Man muß aber dabei Acht haben, daß der Brennpunkt der Linse AB nicht genau auf das Object ab fällt, weil dieses sonst verbrennen könnte. Dunkle Objecte müssen durch Hohlspiegel von vorn beleuchtet werden.

Nach §. 82 wird das Bild eines Sonnenmicroscops in dem Maase vergrößert, als es von der Linse CD weiter absteht, als das Object ab. Es sey der Abstand des letztern ½ Zoll, der Abstand des Bildes = 10 Fuß = 120 Zoll, so wird das Bild im Verhältniß 120 : ½, d. i. 240 mal größer seyn, als das Object. Gläser von geringen Brennweiten geben natürlich auf gleiche Distanzen des Bildes verhältnißmäßig stärkere Vergrößerungen. Aber trotz der starken Vergrößerungen, die ein Sonnenmicroscop gewährt und trotz der Bequemlichkeit, daß mehrere Personen das Bild zugleich betrachten können, so ist dasselbe wegen der großen Undeutlichkeit, die ihm eigen ist, zu genauen Beobachtungen doch nicht geeignet und steht darum den vorher beschriebenen Microscopen weit nach, so daß es eigentlich mehr zu einem edeln Zeitvertreibe dient. Man kann die Deutlichkeit des Bildes mehr erhöhen, wenn man statt der einfachen Linse AB eine von den Doppellinsen nimmt, welche als einfache Microscope gebraucht werden, z. B. die Verbindung zweier Planconvexgläser nach §. 190. Das vollkommenste Sonnenmicroscop wird man indeß erhalten, wenn die Linse CD eine achromatische aus Kron- und Flintglas ist.

Brewster hat vorgeschlagen, die Linse CD in eine Röhre wasserdicht einzusetzen und eben diese Röhre am andern Ende mit einem Planglase zu verschließen. Diese Röhre, welche bei E eine Oeffnung hat, wird

mit Wasser gefüllt oder mit einer andern Flüssigkeit. Dadurch wird das Object ab, welches in die Flüssigkeit mittels einer Nadel eingetaucht wird, durchsichtiger und daher auch das Bild in den einzelnen Theilen deutlicher. Hat die in der Röhre befindliche Flüssigkeit ein größeres Lichtzerstreuungsvermögen und ist die innere Krümmung des Glases CD gut gewählt, so kann das Sonnenmicroscop sogar achromatisch werden.

Der Gebrauch der Hohlspiegel zum Sonnenmicroscop kann ebenfalls nicht unvortheilhaft seyn, da die Fehler der Farbenzerstreuung nicht zu fürchten sind und wenn der Spiegel eine elliptische oder parabolische Gestalt hat, auch nicht die Fehler der Kugelabweichung. Eine solche Vorrichtung ist in Fig. 3 (Taf. XXXIX.) abgebildet, wo AB die Lichtverdichtungslinse ist und mn das beleuchtete Object, welches seine Strahlen durch das Loch des Hohlspiegels cd auf den Planspiegel e sendet, von wo sie auf den Hohlspiegel geworfen werden, und nachdem sie von diesem wiederum reflectirt worden, in MN ein umgekehrtes vergrößertes Bild des Objects mn entwerfen. An der Rückseite des Hohlspiegels cd befindet sich ein anderer Hohlspiegel hk, welcher zur Erleuchtung undurchsichtiger Objecte dient. (Vergl. §. 214.)

Eine andere Einrichtung, welche lediglich für undurchsichtige Objecte sich eignet, ist in Figur 4 (Tafel XXXIX.) zu sehen, wo der Hohlspiegel ebenfalls durchbohrt ist, in dem Loch aber sich ein Sammelglas befindet, welches die durch die Linse AB schon verdichteten Strahlen noch mehr verdichten soll, um das Object mn desto stärker zu beleuchten. Diese Vorrichtung, welche Brewster angegeben hat, empfiehlt sich dadurch ungemein, daß die Lichtstrahlen nur von einer einzigen Fläche reflectirt werden. — Um durch-

sichtige Objecte zu beleuchten, kann man hinter m n einen Planspiegel stellen, dessen Fläche auf der Axe des Spiegels c d senkrecht steht.

§. 216.

Es ist nicht schwer, ein Gestelle zu einem Sonnenmicroscop auszuführen, indem es nur darauf ankommt, dem ebenen Spiegel vor dem Laden des finstern Zimmers, an welchem das Gestell angeschraubt ist, durch Schrauben von innen die gehörige Stellung zu geben und das Object in die gehörige Entfernung von der Hauptlinse zu bringen. Indessen dürfte es für den weniger Unterrichteten nicht unangenehm seyn, eine ausführlichere Beschreibung einer solchen Vorrichtung zu finden, wozu folgendes dienen mag.

Der Haupttheil A B C D E F hat eine kegelförmige Röhre A B C D und eine cylindrische C D E F. Bei A B ist eine breite Lichtverdichtungslinse aufgestellt, am Ende der conischen Röhre A B C D, die in das viereckige Bret Q R eingeschraubt wird, welches mittels zweier Schrauben e d an einen Fensterladen befestigt ist, einem Loche gegenüber, das zum wenigsten die Größe der Linse A B hat. Auf der viereckigen Platte Q R ist eine um ihren Mittelpunkt bewegliche Scheibe, an welcher der Glasspiegel N O P angebracht ist, der in einem messingenen Rahmen liegt, der sich um eine Leiste P P bewegt und in eine der Sonne entsprechende Stellung gebracht werden kann, mittels des Stangen- und Triebwerks bei P und Q, so daß die Strahlen in die Röhre A B C D dringen. Das Getriebe Q bewegt die Scheibe a b c, woran der Spiegel N O P befestigt ist, in einer gegen den Horizont senkrechten Ebene, während die Nuß R ihm eine Bewegung nach einer entgegengesetzten Seite gibt. Das durch

den Spiegel aufgeworfene Licht fällt auf die Linse AB, die es in einem verdichteten Zustand auf ein in der Röhre befindliches Object bringt. Aber bevor es das undurchsichtige Object erreicht, wird es durch einen in der Röhre HILX befindlichen Spiegel M aufgenommen, der das verdichtete Licht auf das Object E (Fig. 2 Taf. XXXIX.) zurückwirft. Dieser Spiegel wird durch die Schraube S in einen geeigneten Winkel gestellt.

Ueber der Röhre ABEF ist der Theil VK zu sehen, welcher die Objecte und das Objectivglas oder die Linse CD (Fig. 2 Taf. XXXIX.) enthält. Die Röhre K ist innerhalb der Röhre V verschiebbar und die Röhre V in die Büchse HILX geschoben. Jede dieser Röhren enthält ein Vergrößerungsglas. Die innere Röhre V wird zuweilen weggenommen und die andere V, die in der Büchse zu sehen ist, allein gebraucht. Die Objectträger werden in einen Schlitz bei H gebracht. Die messingene Platte zur Linken bei H ist mit der Röhre h verbunden mittels einer in dieser Röhre befindlichen Spiralfeder, welche die Platte, und somit auch den eingeschobenen Objectträger, gegen die Wand der Büchse HILX drückt.

Beim Gebrauche des Microscops bewirkt man zuerst mittels der Getriebe P und Q, daß die Sonnenstrahlen durch die Röhre ABCD gehen, und dann wird für undurchsichtige Objecte die Büchse HILX mittels ihrer Röhre G in die Röhre ET gesteckt. Der Objectträger mit dem Objecte, das die zu untersuchende Seite nach der Rechten kehrt, wird hierauf in die Oeffnung H so weit eingeschoben, bis das Object sich in der Axe der Röhren VK befindet; dann wird das verdichtete Licht vom Spiegel M zurückgeworfen und fällt auf das Object. Nun wird die Thür ki verschlossen. Stellt man nun einen

weißen Papierschirm oder ein weißes Tuch von 4—8 Fuß ins Gevierte in einer Entfernung von 6 — 10 Fuß vom Fenster auf, so wird der Beobachter in dem sorgfältig verdunkelten Raum auf dem Schirm ein vergrößertes Bild des Objectes sehen, welches auf verschiedene Distanzen des Schirmes deutlich gemacht werden kann, indem man die Röhren VK mit den Converlinsen aus- oder einschiebt. Da die Sonne sich beständig fortbewegt, so müssen ihre Strahlen zuweilen durch Drehen der Getriebe Q und R von Neuem in die Are des Rohrs gebracht werden.

Soll das Microscop für transparente Objecte gebraucht werden, so wird die Büchse HILX mit allem, was sich an ihr befindet, weggenommen und der in Fig. 2 abgebildete Apparat an ihre Stelle gebracht, welches geschieht, indem man die Röhre y (Fig. 2) in die Röhre EF schiebt (Fig. 1). Bei n ist eine Oeffnung, in welche die Vergrößerungslinse geschoben wird, und eine zweite Verdichtungslinse kann man in die Oeffnung bei h bringen. Der Objectträger wird in die Oeffnung m gebracht und wenn das vergrößerte Bild auf den Schirm fällt, so kann man ihm durch Drehen der Schraube O die gehörige Deutlichkeit geben.

§. 217.

Das Lampenmicroscop unterscheidet sich von dem Sonnenmicroscope nur dadurch, daß die Erleuchtung durch ein künstliches Licht (Lampenlicht) hervorgebracht wird, und kommt daher in seinem Bau einer Zauberlaterne noch näher. Neuerdings hat man zur Erleuchtung mit großem Vortheile die von Drummond erfundene Kalkflamme angewendet, welche man erhält, wenn ein Stückchen Kreide von der Größe einer Erbse in einer Mischung von Sauerstoff- und Wasserstoff-

gas erhitzt wird. Dieses Licht wird so blendend hell, daß ein gewöhnliches Kerzenlicht gegenüber einen Schatten wirft, doch muß beim Gebrauche desselben große Vorsicht angewendet werden, damit keine Explosion entstehe, welche zum großen Nachtheile der Umstehenden ausfallen könnte. Daher schlägt Brewster lieber den Gebrauch einer gewöhnlichen Lampe vor, welche durch Sauerstoffgas im Brennen unterhalten wird und ein eben so helles Licht gibt, als das Kalkflämmchen im Oxyhydrogengas, dem Experimentator aber keine Gefahr verursacht.

Neuntes Kapitel.

Von einigen technischen Hilfsmitteln zur Verfertigung optischer Instrumente.

---

§. 218.

Auswahl und Verfertigung des Glases zu optischen Zwecken.

Die Anforderungen, die man heut zu Tage an einen geschickten Opticus macht, sind die, daß er einmal tief eingedrungen sey in das Wesen der Brechung und Spiegelung des Lichts, und wenn man auch nicht gerade verlangt oder verlangen kann, daß derselbe mit den oft schwierigen Rechnungen der Dioptrik und Catoptrik ganz vertraut seyn soll, so ist es doch unumgänglich nothwendig, daß er die leichtern Rechnungen nach den allgemeinen Formeln leicht ausführen kann, um sich durch sie bei seinen Versuchen

desto sicherer leiten zu lassen. Was aber diesen Theil der Eigenschaften eines optischen Künstlers anlangt, so glauben wir ihm in dem Vorhergehenden den nöthigen Unterricht mit solcher Klarheit gegeben zu haben, als bei Uebergehung der schwierigern mathematischen Untersuchungen nur möglich ist. — Aber eine zweite nicht minder große Anforderung an die Künstler sind die practischen Einsichten und Fertigkeiten, die fast aus allen Theilen menschlicher Kunstverrichtungen zusammengesetzt sind, so daß es unmöglich wird, hierzu einen vollständigen schriftlichen Unterricht zu ertheilen und den man auch gar nicht verlangen wird, wenn man bedenkt, daß einer, der es unternimmt, ein optisches Instrument zu bauen, jene nicht optischen Kenntnisse nothwendig schon mitbringen muß. Ja selbst für diejenigen Verrichtungen, welche dem Optiker ganz eigentlich angehen, kann kein solcher Unterricht in einem Buche gegeben werden, daß man verlangen könnte, durch denselben mit Hilfe einer schon anderweitig geübten Hand unfehlbar zum Ziele zu kommen. Der practische Unterricht geschickter Männer und eigne durch Nachdenken und Versuche erworbene Erfahrungen sind durchaus nothwendig und das, was wir in den folgenden §§. mittheilen werden und was nichts anderes seyn kann, als eine Zusammenstellung des schon von erfahrenen Männern Gelehrten, kann nur dazu dienen, dem ganz Unkundigen einige Aufhellung über die Verrichtung eines Optikers mitzutheilen und namentlich der Hauptkunstgriffe, deren er sich bedient, um zu seinem Zwecke zu gelangen. Dieses über den Gesichtspunkt, aus welchem man das Folgende zu beurtheilen hat.

§. 219.

Das Hauptbedürfniß eines practischen Optikers ist aber vor Allem ein gutes Glas, das nicht immer

leicht zu haben ist. Zu gewöhnlichen Zwecken bedient man sich des gemeinen Spiegelglases, welches eine ins Grünliche spielende Farbe besitzt, dabei aber durch fremdartige Beimischung kein trübes Ansehen bekommen haben darf. Ein Stück Glas, welches zu einer Linse benutzt werden soll, muß rein seyn von Bläschen, Rissen und ungeschmolzenen Quarztheilchen im Innern der Masse, ganz besonders, wenn die Linse nur klein ist und z. B. zu Ocularen benutzt werden soll, denn bei größern, zu Objectiven dienenden Linsen hindern jene Fehler nur die Durchlassung eines geringen Theils des auffallenden Lichtes und sind daher weit weniger schädlich, obschon sie auch hier vermieden werden sollen. Ganz vorzüglich schädlich aber wird eine Ungleichförmigkeit der zur Linse zu verwendenden Masse, welche in einer verschiedenen Dichtigkeit und verschiedenen Brechungskraft verschiedener Theile besteht und die sich durch gewisse wellenförmige Streifen, die sich durch das Innere der Masse hindurchziehen, offenbart. Es ist leicht begreiflich, daß, wenn dieser Fehler vorhanden ist, keine gleichmäßige Brechung alles auf die Linse auffallenden Lichts stattfinden und daher auch kein deutliches Bild entstehen kann. Die Gleichmäßigkeit der Brechung alles Lichts an der ganzen Oberfläche ist ja früher durchgängig vorausgesetzt worden.

Wenn man ein Stück Glas, das auf beiden Seiten rein geschliffen ist, wie z. B. ein Stück von einem zerbrochenen Spiegel, einem Fensterkreuze gegenüber hält und auf und nieder bewegt, damit ein Theil desselben in den Schatten komme, wenn der andere erleuchtet ist, so erkennt man leicht jene Streifen und Wellen. Eben so erkennt man leicht die Fehler an einer Linse, wenn man dieselbe zwischen das Auge und ein Kerzenlicht hält, in der Entfernung ihrer Brennweite vom Auge, so daß ihre Fläche ganz er-

leuchtet erscheint; auch lassen sich jene Fehler entdekken, wenn man das Glas gegen das Tageslicht hält und dasselbe mit einem Vergrößerungsglase betrachtet. Auf diese Art entdeckt man auch bei einer Linse die Fehler des Schleifens und Polirens. Noch schärfer wird diese Probe, wenn man das Glas gegen ein Kerzenlicht hält und es dann mit einem Vergrößerungsglase betrachtet.

Es ist aber schwer, ein wellen- und streifenfreies Glas zu erhalten und besonders leidet das geblasene Glas an diesem Fehler, indem nach Zahns Erklärung die festeren Theile der Masse in die flüssigen durch das Blasen hineingetrieben werden und jene Wellen oder Streifen verursachen. Tauglicher ist das in Tafeln gegossene Glas, obschon eben dieses Gießen auch Wellen und Streifen erzeugt. Dechales bediente sich, um größere Linsen ganz wellenfrei zu erhalten, einer Löffelzange, deren Löffel Abschnitte einer hohlen Kugel sind und gut zusammen passen. Mit dieser Zange wird die Glasmasse, nachdem sie im Ofen gar geschmolzen, aus dem Glashafen herausgenommen, wodurch sie zugleich die vorläufige Form der Linse erhält.

§. 220.

Das Kronglas, wie es zu den Converlinsen achromatischer Objective, zu den Ocularlinsen und allen übrigen Linsen optischer Werkzeuge verwendet wird, ist das gemeine Potaschenglas und besteht aus

120 Pfd. gepochtem Quarz,
50—70 Pfd. gereinigter Potasche,
5—6 Pfd. Salpeter,
1—2 Pfd. Arsenik,
10 Loth Braunstein.

Dieses Glas hat ein Brechungsvermögen von etwa 1.517 bis 1.520. Wird demselben gebrannter, an der Luft zerfallener Kalk zugesetzt, 10—15 Pfd., nämlich statt 2 Pfd. Potasche 1 Pfd. Kalk; oder in dem folgenden Verhältnisse: 100 Pfd. gepochter Quarz, 36 Pfd. Potasche, 16 Pfd. Kalk, 4 Pfd. Kochsalz, 2 Loth Arsenik, so wird sein Brechungsvermögen größer und geht auf 1.530 und etwas darüber.

Das Flintglas besteht aus
100 Pfd. gepochtem Quarz,
100 Pfd. Mennige,
20—30 Pfd. Potasche,
2 Pfd. Salpeter,
$\frac{8}{100}$ Pfd. Braunstein.

Dieses Glas hat ein Brechungsvermögen von beiläufig 1.613, sein Zerstreuungsverhältniß ist, mit dem vorigen reinen Potaschenglas verglichen, etwa 0.650 (§. 71). Diese Verhältnisse sind für achromatische Gläser sehr brauchbar und sie nähern sich jenen der englischen Gläser. Doch ist es besser, Flintglas von noch größerem Zerstreuungsvermögen anzuwenden, weil dadurch für gleiche Focallänge des Objectivs die Krümmungshalbmesser der Linsen größer werden (§. 148), und darum vermehrt man in dem vorigen Glassatze bei gleicher Quantität der übrigen Materialien die Mennige bis auf 120 Pfund. Man darf übrigens hierin nicht zu weit gehen, indem ein Glas, welches zu viel Blei (Mennige) enthält, mit der Zeit anläuft und die vollkommene Politur der Fläche verliert.

Die größte Schwierigkeit ist nun die, das Glas so zu schmelzen, daß es zu einer durchaus gleichförmigen Masse ohne alle Streifen und Wellen sich vereinigt, und hierin hat es Frauenhofer offenbar am weitesten gebracht, aber sein Geheimniß ist zur Zeit

noch nicht bekannt geworden. Prechtl behauptet, daß in einem gewöhnlichen Glasofen dieser Zweck nicht erreicht werden könne, weil dessen Construction und die Art der Feuerung es mit sich bringt, daß der obere Theil des Hafens, worin sich die Masse befindet, beträchtlich mehr erhitzt wird, als der untere, wodurch es geschieht, daß der untere weniger flüssige Theil mit dem obern sich nicht vermischen kann. Wenn es aber schon schwer ist, ein reines Kronglas zu erhalten, so ist es noch weit schwerer, ein zu optischen Zwecken taugliches Flintglas herzustellen, weil das Blei, die Mennige, wegen seiner größeren Schwere sich nur mit Mühe mit den übrigen leichtern Materien vereinigen läßt und lieber zu Boden sinkt.

Der Hafen mit der Glasmasse muß nach Prechtls gewiß sehr richtigem Urtheile von unten mehr erhitzt werden, als von oben, denn hiervon wird die natürliche Folge seyn, daß die untere Masse heißer und flüssiger wird und wegen ihrer dadurch erlangten größern Leichtigkeit in die Höhe steigt, während die obern Theile niedersinken. Hierdurch wird eine fortwährende Circulation der Masse erreicht und mit ihr die vollkommene gleichförmige Vermischung aller Theile. Auf diesen Grundsatz sich stützend gibt Prechtl folgende Anleitung zum Schmelzen des optischen Glases:

Der Ofen, welcher cylindrisch ist und nicht viel mehr in der inneren Weite zu haben braucht, als daß der Glashafen, der 3 bis 4 Centner Masse fassen kann, noch den gehörigen Spielraum für das Feuer um denselben übrig läßt, ist in Taf. **XLI.** Fig. 1 im Durchschnitte vorgestellt. **A** ist der Glashafen, welcher auf dem aus feuerfesten Ziegeln in Form eines Gewölbes gemauerten Rost a b steht, dessen Oeffnungen hinreichend weit sind, damit die Flamme ungehindert durch dieselben an den Boden und die Seitenwände des Hafens anschlagen könne.

Auf diesem Rost ist der Hafen auf den schmalen Kanten feuerfester und mit feuerfestem Lehm auf die Ziegeln des gewölbten Rostes aufgekitteter Ziegeln aufgestellt. Die mittlere runde Oeffnung dieses Gewölbes, welche unmittelbar unter dem Boden des Hafens liegt, ist die größte. Etwa 2 — 2½ Fuß unter diesem Roste liegt der Feuerrost c d, gleichfalls aus feuerfesten Ziegeln in Form eines flachen Gewölbes hergestellt; die Oeffnungen desselben sind groß genug, damit die von dem flammenden Holze abfallenden Kohlen ungehindert durchfallen können. e ist die verschließbare Heizthür, f die Aschenthüre; B C sind die beiden Arbeitsöffnungen, die mit thönernen Stöpseln oder Thüren verschließbar sind, um den Luftzug nicht zu stören. Auf der der Einheitzthür entgegengesetzten Seite des Ofens ist eine größere gewölbte Oeffnung befindlich, durch welche der Hafen in den Ofen gebracht wird, auch wegen der vorzunehmenden Reparaturen ein Arbeiter in denselben gelangen kann. Der Luftzug findet in der Regel durch die Aschenthüre f statt, durch welche auch dieser Zug und die Hitze beliebig regulirt werden kann. Anwärmung und Feuerungsart bis zum Reinschmelzen des Glases sind bei diesem Ofen übrigens dieselben, wie nach der gewöhnlichen Weise.

Beim Eintragen der Materialien in den Hafen scheint es beim Flintglase vortheilhaft, zuerst den Quarz mit der Potasche, dem Salpeter, dem Braunstein und etwa den vierten Theil der Mennige nach und nach einzutragen und erst nach der Schmelzung dieses Gemenges den übrigen Theil der Mennige zuzusetzen.

Wenn das Probeziehen die reine und völlige Schmelzung der Glasmasse angezeigt hat, so setzt man das Feuer in der zum Heißschüren nöthigen Hitze fort, um die oben erwähnte Circulation der flüssigen Masse bis zu ihrer gleichförmigen Mischung

fortzusetzen. Nach einiger Zeit muß man dann eine kleine Portion des Glases herausnehmen und nach dem Erkalten die Bruchstücke derselben auf ihrer Streifenlosigkeit untersuchen, bis man endlich die gehörige Vollkommenheit erreicht zu haben glaubt. Sind der Bau des Ofens, die Qualität der Materialien und die Qualität des Brennmaterials dieselben, so ist, wie bereits oben bemerkt worden, eine einzige Erfahrung hinreichend, um über diese Zeit des Auskochens der Glasmasse den sichern Anhaltspunkt zu geben.

Ist die Vollkommenheit der Masse erzielt, so muß dieselbe nun auch der gleichförmigen Abkühlung überlassen werden. Dieses geschieht am besten dadurch, daß man die Glasmasse in dem wohl verschlossenen Ofen der ruhigen Abkühlung überläßt. Die Abkühlung eines solchen Ofens, dessen Mauerwerk hinreichend stark ist, erfolgt so allmählich, daß keine merkliche Ungleichförmigkeit in dieser Abkühlung der Masse entstehen kann. Man verlegt daher die Arbeitsöffnung sowohl, als auch die Schür- und Heitzöffnung mit Ziegeln und Lehm, verschließt auch zum Theil den Rauchfang mit einer Schiebethür und überläßt dann den Ofen der Ruhe.

Ist der Ofen so weit abgekühlt, daß keine Glühhitze mehr in demselben vorhanden, folglich das Glas schon völlig hart geworden ist, so wird der Ofen wieder geöffnet, damit er sich vollends abkühlt und hierauf durch die Einführöffnung der Hafen zerschlagen und die in demselben befindlichen, in verschiedene Stücke zersprungenen oder leicht zersprengbaren Massen herausgenommen. Nach dieser hier beschriebenen Art hängt man bei der Bereitung des optischen Glases nicht mehr vom Zufall ab und man hat es in der Gewalt, durch die eingeleitete Circulation der flüssigen Masse ihre vollkommene Gleichförmigkeit in jedem Falle herzustellen.

Wer sich übrigens in der Glasfabrication eine nähere Kenntniß erwerben will, der kann nachlesen in Leng's vollständigem Handbuche der Glasfabrication ꝛc. Weimar bei Voigt.

§. 221.

Die einzelnen schalig abgesonderten größern und kleinern Stücke werden nun zum Gebrauche für achromatische Objective auf folgende Art verwendet: Man nimmt nämlich ein solches Stück von dem, der daraus zu verfertigenden Linse entsprechendem Gewichte, schlägt von demselben die scharf hervorspringenden Ecken ab und legt es in eine thönerne Schale, welche mit feinem Sand angefüllt ist, dem man vorher durch Eindrücken einer Linse von der gehörigen Größe die beiläufige Form des herzustellenden Glases gegeben hat. Diese Schale stellt man nun unter eine rothglühend geheitzte Muffel, um das Glas weich zu machen. Das Glasstück senkt sich sonach durch sein eignes Gewicht nieder, breitet sich in der Schale aus und stellt nach dem allmählichen Abkühlen eine rohe Glaslinse von der verlangten Form dar, welche zum Schleifen vorbereitet ist. Auf diese Art lassen sich aus jenen Stücken Linsen von jeder Größe herstellen, und für den Fall, als ein einzelnes Glasstück hierzu nicht Masse genug hätte, lassen sich auch zwei dazu anwenden, da beim Einsenken sich ihre Berührungsflächen ohne Spur vereinigen, wenn keine zufälligen Verunreinigungen, als Staub und Asche, dazwischen kommen. Für ganz kleine Linsen behält das Stückchen Glas, das man dazu verwendet, nach dem Erweichen eine kugelige Form; man muß es daher aus der Muffel nehmen und es durch Aufpressen eines dazu geformten Holzes aus einander drücken, um ihm die erforderliche Größe und Form zu geben. Bei diesem Einsenken muß man Acht haben, daß das

Glasstück gleichmäßig erhitzt werde, so daß nicht etwa der eine Theil zu fließen anfängt, wenn der andere noch hart ist, und ebenso muß die Abkühlung gleichförmig und allmählich geschehen, durch Vorrückung des Glases an die weniger heißen Stellen der Muffel, die deshalb eine etwas bedeutende Länge haben muß, damit nicht aus beiden Ursachen neuerdings Streifen in das Glas gebracht werden.

§. 222.

Das Schleifen der Linsengläser.

Die Linsengläser werden in Schalen geschliffen, welche der Oberfläche gemäß, die die Linse bekommen soll, genau geformt werden; die Zubereitung der Schalen ist also das erste Geschäft zum Schleifen einer Linse.

Man reißt mit einer Zirkelspitze auf einem hinreichend starken Kupfer- oder Mesingblech aus einem Halbmesser, nach welchem die zu formirende Oberfläche einer Linse gekrümmt seyn soll, einen Bogen, der etwas breiter ist, als die Breite der Linse, und auf einem andern Bleche mit demselben Halbmesser einen zweiten Bogen. Beide Bögen werden nun durch Beschneiden und Feilen ausgearbeitet, so daß man zwei Bleche erhält, wovon das eine convex, das andere concav gekrümmt ist, die Ausarbeitung aber muß mit der möglichsten Sorgfalt geschehen, damit das Blech bis an den aufgerissenen Bogen genau stehen bleibe und die Begrenzung ohne Buckeln und Rauhheiten sey. Dieses sind die sogenannten Leeren. — Kleine Leerbögen reißt man mit einem Handzirkel, größere mit einem Stangenzirkel. Sehr große Leerbögen zu zeichnen, erfordert viele Sorgsamkeit, allein sie werden bei dem jetzigen Zustande der practischen Optik nicht mehr gebraucht, da keine Gläser von

Brennweiten, die auf 100 Fuß gehen, mehr in Anwendung kommen.

Die convexen Gläser werden auf einer hohlen, die concaven auf einer convexen Schale geschliffen, die hohle Schale wird nach dem convexen, die convexe nach dem concaven Leerbogen ausgearbeitet.

Man nimmt nun eine kreisförmige Platte von Messing- oder Kupferblech und hämmert dasselbe so lange, bis es ungefähr die Krümmung des Leerbogens erhalten hat, welches man leicht durch Aufpassen des letztern erfährt. Nach dieser Arbeit wird an die Schale ein Stück Messing senkrecht aufgelöthet, um sie auf die Spindel der später zu beschreibenden Schleifmaschine zu schrauben, und dann dreht man sie nach der gegebenen Leere, indem man sie in einem Drehfutter auf die Drehbank bringt, recht genau aus. Mit Hilfe des Leerbogens wird nun eine Schale aus Thon oder Lehm geformt und in dieselbe Blei gegossen, wodurch man eine bleierne Schale erhält, die in erstere ziemlich genau einpaßt. Diese bleierne Gegenschale, welche sehr dick seyn muß, wird mit Pech an einen hölzernen Griff gekittet und mit dem feinsten Schmirgel in der messingenen Schale so lange geschliffen, bis diese recht glatt geworden ist und die Krümmung des Leerbogens genau angenommen hat. Dieses Verfahren ist das am wenigsten mühsame und gewährt für Linsen, die blos zu gewöhnlichen optischen Zwecken gebraucht werden sollen, hinreichende Genauigkeit, wie mich die Erfahrung selbst gelehrt hat.

Um aber eine größere Genauigkeit zu erzielen, muß man nach dem zweiten Leerbogen ebenfalls eine Schale aus Messing machen und sie mit Schmirgel so lange in die erstere hineinschleifen, bis sich beide in allen Punkten genau berühren. — Sollen die Gläser aus freier Hand geschliffen werden, so löthet man die Schalen an eine gleich große Bleiplatte, damit sie

eine feste Unterlage bekommen. — Das Hämmern der Messingplatten nach dem Leerbogen wird nur bei solchen Schalen angewendet, welche eine starke Krümmung bekommen, wie z. B. bei den Schalen zu Ocularlinsen; bei Schalen von flächeren Krümmungen, woraus die Objectivlinsen geschliffen werden, löthet man die Messingplatte sogleich auf den Bleicylinder und dreht sie hernach nach dem Leerbogen aus. — Eben so werden auch zu ganz kleinen Schalen zu Gläsern von sehr starken Krümmungen in ein Stückchen Messing die Höhlungen eingedreht.

Der Durchmesser einer jeden Schleifschale ist wenigstens um $\frac{1}{2}$ Zoll größer, als das darin zu schleifende Glas.

§. 223.

Die Gläser werden zuerst, nachdem sie mit einer Zange ungefähr rund gekneipt worden, auf einen gewöhnlichen Schleifstein gebracht und rund geschliffen; sollen sie convex werden, so schleift man auch zugleich die Kanten am Rande mit weg, damit das Glasstück nachher besser in die Form hineinpasse. Die so zugerichtete Glaslinse wird hierauf an eine hölzerne Handhabe von der Form (Taf. **XLI.** Fig. 2) gebracht, die man in die Drehbank spannt, um den Rand des Glases vollends gehörig rund zu drehen, was mit gröberm Schmirgel und Wasser geschieht, welche Materien man durch ein Stück Messing, das in den Support eingespannt ist, mit dem Rande der Linse in Berührung bringt. Statt des hölzernen Griffs kann man besser eine messingene Platte nehmen, an deren Rückseite eine Schraube angelöthet ist. Die Messingplatte wird vorher auf der Drehbank rund gedreht und kann beiläufig auch nach dem Leerbogen der Schale ausgedreht werden, um besser auf

die eine schon abgeschliffene Glasfläche zu passen. Ihr Durchmesser ist etwas geringer, als der des Glases, und dieses gilt auch von der vorher beschriebenen hölzernen Handhabe.

Das Aufkitten geschieht mit gewöhnlichem weichen Pech, aber so, daß dieses nicht in einer ganzen Masse, sondern in Tropfen auf das erwärmte Glas gebracht wird, worauf man alsdann die erwärmte messingene Platte drückt. Bedient man sich der hölzernen Handhabe, so muß man wohl mehr Pech auftragen und namentlich dasselbe zuerst auf das Holz bringen, worauf man dann die erwärmte Glasplatte drückt. Aber zum Schleifen sehr accurater Linsen ist die messingene Platte ohne Zweifel besser, da das Pech sparsamer aufgetragen und dadurch das Biegen der Linse besser vermieden werden kann.

Beim Aufkitten des Glases an die hölzerne oder messingene Handhabe ist es namentlich bei größern Linsen nothwendig, daß der Mittelpunkt des Glases mit dem der Handhabe zusammenfalle, was man durch nachfolgendes Abdrehen genau erreicht.

§. 224.

Nun erfolgt das Schleifen der Linse, welches man aus freier Hand in den auf einem Tische befestigten Schleifschalen folgendermaasen anstellt. Nachdem man in die Schale gröbern Schmirgel oder auch Sand gethan und ihn mit Wasser befeuchtet hat, führt man das Glas an seinem Griffe darin herum, indem man die Bewegung etwa 6 mal im Kreis und 2 bis 3 mal übers Kreuz nach dem Durchmesser der Schale in verschiedenen Richtungen macht und so abwechselnd fortfährt. Das Glas muß dabei so geführt werden, daß sein Mittelpunkt niemals über den Rand der Schale hinaus geht; auch darf kein merklicher

Druck angewendet werden und während des Schleifens muß man die Schale immer gehörig feucht erhalten, so daß sie niemals an einzelnen Stellen trokken werden kann. Diese Arbeit setzt man so lange fort, bis das Glas die Figur der Schale angenommen hat. Wenn das Glas an die erwähnte Messingplatte gekittet ist, so schraubt man einen hölzernen Stiel an die letztere, damit die Wärme der Hand nicht auf das Pech wirken kann.

Hat sich nun das Glas genau in die Schale eingeschliffen, so wäscht man den Schmirgel weg und bringt feinern an dessen Stelle, worauf die vorige Arbeit wiederholt wird, um durch Anwendung eines feinern Schmirgels alle Risse aus dem Glase wegzuschleifen, so daß man eine gleichförmig matte Fläche erhält. Nachdem der feinste Schmirgel angewendet worden, schleist man noch einige Zeit mit gepulvertem Bimsstein, wodurch die Rauhheit des Glases verschwindet und eine Art Politur an deren Stelle tritt. Man muß bei dieser Arbeit, wenn sie accurat werden soll, die convexe Schale in der hohlen von Zeit zu Zeit, etwa alle 5 Minuten, einige Secunden lang schleifen, denn ohne diese Vorsicht hat oft schon während des Schleifens der Linse die gebrauchte Schale ihre Form verloren.

Den Schmirgel von verschiedener Feinheit erhält man nach Huyghens Anleitung auf folgende Weise: Man nimmt 5 oder 6 reine Gefäße, füllt eines derselben mit Wasser und thut eine bedeutende Quantität fein gemahlenen Schmirgels hinein. Man rührt die Mischung mit einem Holze gut um und nachdem sie 5 Secunden ruhig gestanden, schüttet man sie in das zweite Gefäß, wobei man den Bodensatz zurückläßt. Hier bleibt es 12 Secunden lang stehen und dann wird es wieder mit Zurücklassung des Bodensatzes in ein drittes Gefäß gegossen; dann nach 12

Secunden wieder in ein viertes u. s. w. Auf diese Weise erhält man Schmirgel von verschiedener Feinheit, wovon der gröbste im ersten, der feinste im letzten Gefäße sich befindet.

Wenn nun auf diese Weise die erste Fläche vollendet ist, so wird das Glas von seinem Griffe durch Einschiebung einer Federmesserklinge abgenommen und die noch anhaftenden Pechstückchen werden mit Weingeist weggewaschen. Man befestigt nun den Griff an der schon geschliffenen Seite eben so wie vorher und schleift die zweite Fläche des Glases.

Man muß beim zweiten Aufkitten des Glases ganz vorzüglich Acht haben, daß die Linse centrisch an den Griff zu liegen komme, d. h. daß die Mittelpunkte beider Flächen in die Axe des Griffes fallen, weil man dadurch schon eine sehr nahe centrirte Linse erhält und sich bei dem eigentlichen Centriren sehr viel Arbeit erspart. Man spannt zu diesem Behufe die Handhabe mit der Linse, so lange der Kitt noch warm ist (der, wenn er vor Beendigung der Arbeit erkalten sollte, von Neuem erwärmt werden muß), in die Docke der Drehbank und verschiebt die Linse auf dem Kitte so lange, bis die Spitze eines in dem Supporte befestigten Grabstichels während einer Umdrehung an der Peripherie der geschliffenen Fläche ohne alle Abweichung läuft. Wenn nachdem die zweite Fläche der Linse geschliffen worden ist, so wird ihr Rand allenthalben gleiche Dicke haben, ein Anzeichen, daß die Linse centrirt ist.

§. 225.

Da das Schleifen der Linsen aus freier Hand eine etwas mühsame Arbeit ist, besonders bei größern Linsen, so hat man auf allerlei Maschinen gedacht, um die Arbeit zu erleichtern. Man hat behauptet,

daß sich die Linsen mittels einer Maschine genauer in die verlangte sphärische Form einschleifen lassen, als mit freier Hand, daß aber das **Poliren** aus freier Hand dem mit einer Maschine vorzuziehen sey, weil man auf die letztere Art die Figur des Glases immer wieder verderbe; Prechtl aber verwirft die Anwendung einer Maschine ganz und gar. Dem sey nun wie ihm wolle, so dürfen wir doch die schon von den ältern Optikern angewendete einfache und heut zu Tage bei gewöhnlichen Zwecken noch sehr gebräuchliche Maschine nicht übergehen, durch welche die Schleifschale eine rotirende Bewegung erhält, wodurch der Arbeit mit der Hand nachgeholfen wird. Wir wollen den einfachen Mechanismus an der Vorrichtung erläutern, deren sich Leutmann zum Schleifen seiner Gläser bediente.

In Fig. 3 Taf. XLI. ist ein Durchschnitt des ganzen Gestelles abgebildet. Das Rad A kann mittels einer Kurbel durch die Hand bewegt werden und über seine Peripherie ist eine Schnur geschlagen, welche die Rolle B erfaßt und sie mit der Umdrehung des Rades zugleich mit in Bewegung setzt. Durch diese Rolle hindurch geht die messingene Spindel C, deren oberes Ende mit einigen Schraubengängen versehen, um die Schleifschalen mit dem an ihrer Rückseite befindlichen Schraubenstücke darauf zu befestigen. Es ist eine unumgänglich nothwendige Bedingung, daß die Spindel genau senkrecht stehe. Die Schraube D dient dazu, um die Zapfenlager der Spindel zu heben oder zu senken, damit diese weder zu gedrängt laufen, noch schlottern kann, und um eben diesen Zweck bei dem Rade A zu erlangen, dient die Schraube F, Bei A ist sowohl der obere, als auch der untere Boden gabelförmig ausgeschnitten, wie Fig. 4 zeigt, und in jeder Oeffnung ist ein Riegel befindlich, welcher gedränge hin- und hergeschoben

werden kann. In diesen beiden Riegeln geht die Welle des Rades A und beide sind durch das gabelförmige Stück E verbunden, welches hinten in einer Schraube S endigt, mittels welcher beide Riegel um eine Kleinigkeit verrückt werden können, damit man die Schnur, welche über das Rad A und die Rolle B geht, gehörig straff ziehen oder auch locker machen kann.

Um die Spindel C ist ein Kasten H gesetzt, welcher da, wo die Spindel durch den Boden hindurchgeben soll, ein Loch hat. Dieser Kasten dient, den Schmirgelschlamm aufzufangen, welcher beim Schleifen umherspritzt.

Diese Maschine wird mit der einen Hand in Bewegung gesetzt, während man mit der andern das Glas an seinem Griff in die Schale hält. Zu größerer Bequemlichkeit des Arbeiters ist meistens das Rad A vertical gestellt und kann durch den Fuß wie ein Spinnrad in Bewegung gesetzt werden. Eine solche Einrichtung bedarf keiner Erläuterung weiter.

Die Rückseite der Schleifschale ist, wie schon erwähnt, mit einem messingenen Ansatze versehen, in welchem eine Schraubenmutter befindlich ist, um ihn auf die Spindel C zu schrauben, doch kann dieser Ansatz eben so gut auch eine äußere Schraube seyn und die Schraubenmutter in der Spindel sich befinden. Größerer Leichtigkeit halber kann die Schale auch auf einen Absatz gekittet werden, welcher auf die Spindel aufgeschraubt werden kann. — Die Schraube an der Rückseite der Schale muß genau in deren Mitte sich befinden und auf der Oberfläche senkrecht stehen, damit die Bewegung der Schale recht gleichmäßig im Kreise erfolge.

§. 226.

Um nun vermittels der im vorigen §. beschriebenen Maschine ein Glas zu schleifen, bereitet man dasselbe eben so vor, wie schon im §. 222 2c. gelehrt worden, thut groben Schmirgel in die Schleifschale, den man aus einem im Schlammkasten stehenden Wassergefäß immer feucht erhält, und hält das Glas an seinem Griff in die Schale hinein, während man die letztere in die drehende Bewegung versetzt. Zuerst setzt man das Glas in die Mitte der Schale, führt es von da, indem man das Rad mit der rechten Hand zuerst langsam, hernach geschwinder umdreht, mit gelindem Druck auf die Schüssel in einer geraden Linie hinauf bis etwas über den Rand und dann wieder sehr langsam nach der Mitte zurück, bis das Glas einigermaasen eine Rundung bekommen hat und sich schon genauer in die Schüssel fügt. Dieses Verfahren wird so lange wiederholt, bis das Glas in die Schale sich vollkommen eingeschliffen hat.

Durch die Bewegung des Glases verhindert man, daß sich grobe Furchen in dasselbe einschleifen, die hernach schwer wieder wegzubringen sind, desgleichen wird auch die sphärische Form der Schüssel möglichst nahe bewahrt. Während des Auf- und Abführens des Glases muß dasselbe allmählich mit den Fingern um sein eignes Centrum gedreht werden, damit es vollkommen sphärisch und nicht schief geschliffen werde. Man muß auch das Glas an allen Punkten gleich fest aufdrücken, doch nicht zu stark, daß es nicht Furchen bekomme und die Mühle stehen bleibe, auch muß man dahin sehen, daß der Sand oder Schmirgel allenthalben gleich scharf greife. Man muß auch das Glas nicht allzuweit über den Rand der Schale hinaus führen, aber auch nicht zu nahe in der Mitte halten, denn im ersten Falle würde

blos die Mitte, im andern der Rand bei der Politur vollkommen ausfallen.

Da man mittels dieser Maschine meist nur Gläser zum gemeinen Gebrauch, als Brillengläser, Objective zu einfachen Fernröhren oder zur Camera obscura schleift und als Material Glas von zerbrochenen Spiegeln benutzt, dessen beide Oberflächen sehr nahe parallel sind, so hat man ein leichtes Mittel, das Glas beim Schleifen so zu halten, daß es nahe centrisch wird. Man sieht nämlich leicht ein, daß die Mitte des Glases am spätesten angegriffen wird und daß aus dieser Ursache hier ein helles Pünktchen zuletzt noch übrig bleiben muß. Dieses Pünktchen sucht man genau in die Mitte des Glases zu bringen, zu welchem Ende man dasselbe von Zeit zu Zeit abwischt und zusieht, ob es in die Mitte kommen werde; sollte dieses nicht der Fall seyn, so muß man beim Schleifen dann das Glas darnach halten. Ist die erste Fläche einmal geschliffen, so hat man für die zweite Fläche dasselbe Merkmal, auch kann der Rand des Glases dienen, um es in Bezug auf seine richtige Centrirung zu prüfen, denn dieser muß ringsum gleiche Stärke besitzen und also, da er beim rohen Glasstücke diese Eigenschaft schon hatte, dieselbe während des Schleifens immer fort behalten.

Bei Hohlgläsern fällt dieses Merkmal weg, es bleibt aber statt des hellen Pünktchens in der Mitte ein helles Rändchen und dieses sucht man allenthalben gleich breit zu erhalten. Wird die Vertiefung bis an den Rand der Linse eingeschliffen, so muß derselbe allenthalben gleich stark stehen bleiben.

Kleine Convexgläser und Planconvexgläser werden so geschliffen, daß ihre beiden Oberflächen sich schneiden, und dann sind sie vollkommen centrirt.

Wenn das Glas durch Abschleifen mit gröberm Schmirgel die Form der Schale vollkommen ange-

nommen hat, so schleift man es auf eben die Weise mit immer feinerm Schmirgel, bis es ganz glatt geschliffen und zum Poliren vorbereitet ist.

§. 227.

Vom Poliren der Gläser.

a) Aus freier Hand. Man schmilzt eine Mischung aus gleichen Theilen Pech und Colophonium und drückt dieselbe, wenn sie noch heiß ist, durch eine feine Leinwand, um alle Unreinigkeiten herauszubringen, worauf man die Mischung so lange stehen läßt, bis sie eine dickliche Consistenz angenommen hat. Man nimmt hierauf die Schleifschale, in welcher das nun zu polirende Glas geschliffen worden ist, erwärmt dieselbe etwas, damit das Pech daran hafte und schüttet nun von dem geschmolzenen Pech auf dieselbe so viel, als nöthig ist, um dieselbe in ihrer ganzen Fläche etwa 1 Zoll hoch damit zu bedecken. Man drückt dann in diese mit dem schon zäh werdenden Peche versehene Schale die Gegenschale auf, deren Fläche ganz trocken, rein und kalt seyn muß, um dem Peche die Form dieser Schale zu geben; man taucht dann die Polirschale in kaltes Wasser, bis das Metall gänzlich abgekühlt ist. Man kann auch die schon geschliffene Glasfläche dem Pech aufdrücken, nur muß sie an ihren Griff gekittet seyn, damit sie sich nicht biegen kann.

Auf dieser Pechschale wird nun das mit dem Griffe genau centrisch versehene Glas mit Kolkothar und Wasser polirt, bis seine beiden Flächen die vollkommene Politur erhalten haben. Das Poliren geschieht eben so wie das Schleifen mit kreisförmigen und Kreuzzügen, wobei man übrigens behutsam verfahren muß, damit der Pechkuchen sich nicht erhitze und seine Form ändere, und die Vorsicht anwendet,

die Gegenschale in dem Pechkuchen mit feinem Schmirgel zu schleifen, besonders wenn man vermuthet, daß die Pechschale ihre Form geändert haben mag. Bevor man aber wieder zu poliren anfängt, muß man den Schmirgel mit Wasser vollkommen wegspülen.

Damit bei dieser Arbeit sich an der Pechfläche nicht an einzelnen Stellen das Polirmittel oder abgerissene Pechtheile anlegen, wodurch die Figur der Pechschale und des Glases verändert werden würde, so werden vor dem Gebrauch in dieselbe, nachdem das Pech ganz erkaltet ist, Kreuzlinien in der Entfernung von $\frac{1}{2}$ bis 1 Zoll von einander und etwa eine Linie breit eingeschnitten. Man zieht nämlich eine solche Furche durch den Mittelpunkt in der Lage des Durchmessers, eine zweite senkrecht auf die vorige durch den Mittelpunkt und die übrigen Furchen parallel diesen beiden. Diese Furchen nehmen alle überflüssigen Theile auf, so daß die Polirfläche rein und in ihrer Form erhalten wird. — Man muß auch Acht haben, daß während des Schleifens und Polirens kein bedeutender Temperaturwechsel eintrete, damit nicht die Schleifschale durch ungleiche Ausdehnung ihre Form ändere.

Der Kolkothar ist rothes Eisenoxyd, welches entsteht, wenn man vorher calcinirten oder von seinem Wasser befreiten Eisenvitriol in einem hessischen Schmelztiegel ausglüht, wodurch die Schwefelsäure davon geht und dieses Oxyd als ein feines rothes Pulver zurück bleibt. Bei der Bereitung der Schwefelsäure (des Vitriolöls) aus Eisenvitriol bleibt dasselbe als Rückstand in der Retorte. Der käufliche Kolkothar (Eisenroth) enthält gewöhnlich noch Schwefelsäure, welche vor seiner Anwendung zum Schleifen optischer Gläser dadurch entfernt werden muß, daß man ihn mit ewas reinem heißen Wasser übergießt, umrührt und, nachdem er sich wieder gesetzt hat, das

Wasser wieder davon abgießt. Ist der Kolkothar nicht vollkommen fein oder etwa mit fremden Theilen verunreinigt, so muß er vorher auf eben diese Weise geschlemmt werden.

§. 228.

b) **Mittels der §. 225 beschriebenen Maschine.** Hier wird ebenfalls nicht in der unmittelbaren Schleifschale die Politur vorgenommen, sondern dieselbe wird erst mit weichem, nicht zu dünnen und nicht zu stark geleimten Papier ausgefüttert, welches man mit Stärkekleister oder aufgelöstem Gummi arabicum auf die Fläche der Schale so aufklebt, daß keine Falten übrig bleiben, zu welchem Behufe man das Papier zuvor in die Schale hineinpassen und die faltengebenden Theile desselben mit einer Schere accurat wegschneiden muß. Wenn der Leim trocken geworden, so radirt man mit einem scharfen Messer alle noch übrigen Ungleichheiten des Papiers, Knoten, Sandkörnchen u. s. w. hinweg, damit nichts übrig bleibe, was dem Glase schädlich werden könne. Statt des Papiers kann man auch die Schale mit einem Stück Taffet, feinem Tuche, Handschuhleder u. dgl. auskleben.

Alsdann schraubt man die Schale auf die Spindel, reibt mit dem Finger etwas Kolkothar oder auch feinen Tripel auf dem Ueberzuge herum, daß er ganz damit bedeckt wird und der Kolkothar fest anhänge, entfernt alles Grobe und Harte, was man noch verspürt und hebt an zu poliren, auf dieselbe Weise, wie das Glas geschliffen worden. Bei dieser Arbeit muß man das Glas allenthalben gleich fest andrücken, jedoch nicht zu fest; auch darf man das Rad nicht allzu schnell herum drehen, damit das Glas sich nicht erhitze, und wenn dieses der Fall seyn sollte, so muß

man etwas inne halten, bis das Glas wieder abgekühlt ist. So oft sich etwas von dem Polirmittel an das Glas anhängt, muß man dasselbe nicht abwischen, sondern durch die Umdrehung der Schale selbst abreiben. So oft der Kolkothar sich eingerieben hat, trägt man neuen auf, rührt auch den alten mitunter mit dem Finger wieder auf und wenn das Papier so geglättet ist, daß es nicht mehr angreifen oder kein frisches Polirmittel mehr annehmen will, so überfährt man es einmal mit einem feuchten Schwamm und läßt es wieder trocknen. Wenn das Glas schon gut ist, so polirt man es zuletzt noch ohne Auftragung neuen Polirmittels eine Zeit lang.

Ob das Glas gut polirt sey, erfährt man, wenn man es gegen das Licht hält und durch eine scharfe Loupe betrachtet, wie schon §. 218 erwähnt worden, denn dadurch entdeckt man leicht die kleinen Risse oder Grübchen, die etwa noch stehen geblieben sind.

Ganz kleine Converlinsen mit kurzen Brennweiten kann man auch ohne Schale poliren, indem man ein Stück weiches Handschuhleder mit dem einen Ende annagelt, mit dem andern in der Hand hält, das Polirmittel etwas dick aufträgt und hernach das Glas darauf herum reibt, bald drehend, bald geradlinig auf und ab führend.

Das Schleifen einer vollkommen ebenen Fläche wird für ganz besonders schwer gehalten. Man verfährt dabei eben so, wie sonst, nur muß die Ebenheit der Schleifschale recht genau erreicht worden seyn.

Bei dem Schleifen der Planflächen von Ocularlinsen kann man sich, nachdem die converen Flächen schon geschliffen sind, eine große Erleichterung dadurch verschaffen, daß man viele Flächen auf einmal schleift. Zu diesem Ende werden die Linsen in Pech, dem Gyps zugesetzt worden ist, auf einer festen Unterlage eingekittet und dann mittels eines unten mit einer

matten Spiegelplatte versehenen Troges auf dieselbe Weise geschliffen und polirt, wie die gläsernen Planspiegel. Die Lage der Linsen wird dabei so eingerichtet, daß durch das Abschleifen die krumme Fläche und die Planfläche einander schneiden.

§. 229.

Man hat noch mancherlei Vorrichtungen erdacht, um Gläser auf eine leichte und sichere Weise in die sphärische Form zu bringen, und vielleicht hat es manche bewährte gegeben, die aber nicht bekannt geworden ist, wie das z. B. von der Frauenhoferschen Art zu schleifen mit Gewißheit gilt. Prechtl sagt, daß die Genauigkeit der Frauenhoferschen Gläser durch Poliren aus dem Radius erreicht worden sey und führt in seiner Dioptrik eine eigens erfundene Vorrichtung an, die zwar keine Erleichterung des Schleifens, aber doch eine große Genauigkeit der Kugelform gewährt. Die Methode, aus dem Radius zu schleifen, besteht im Wesentlichen darin, daß das Glas mit seinem Griff an eine unbiegsame Stange gebracht wird, die mit dem andern Ende so befestigt ist, daß sie sich um diesen Punkt nach allen Richtungen drehen läßt. Die Länge dieser Stange ist genau dem Halbmesser gleich, nach welchem die zu schleifende Glasfläche gekrümmt seyn soll und nun wird das Glas gerade so wie beim Schleifen aus freier Hand in der untergelegten Schale herumgeführt. Es ist leicht begreiflich, daß dadurch die sphärische Form der Glasfläche sehr genau erhalten werden muß, weil die Bewegung genau in der Kugelfläche erfolgt, die das Glas haben soll. Die Vorrichtung Prechtl's, die Radiusstange aufzuhängen, ist sehr sinnreich, allein die Grenzen dieses Werks gestatten nicht, eine solche nur für Optiker vom höchsten Rang anwendbare Maschinerie zu beschreiben. Ein

Dilettant wird immer die vorige weniger umständliche Art zu schleifen wählen und ein angehender Optiker desgleichen, um sich dadurch für vollkommnere Arbeiten geschickt zu machen.

Man hat auch Maschinen erfunden, durch welche Gläser ohne anderes Hinzuthun der Hand geschliffen werden können, als daß man die Maschine in Bewegung setzt, allein es hat sich noch keine solche Vorrichtung dergestalt bewährt, daß sie in allgemeinen Gebrauch gekommen wäre. Tournant's Maschine ist wie eine Drehbank gebaut, das Schwungrad führt aber mttels einer Schnur ohne Ende zugleich eine Rolle mit herum, in deren Axe das Glas festgemacht ist. Die Kette, durch die das Schwungrad umgetrieben wird, ist an einer an dessen Axe befindlichen Kurbel befestigt, so daß die Bewegung des Schwungrads eben so erfolgt, wie bei einem Spinnrad. In diese Kette ist die eiserne Schleifschale, gleichsam als ein Glied, an zwei Henkeln mit eingehängt und wird durch eine besondere Vorrichtung gegen das zu schleifende Glas drückt. Wenn man also die Maschine in Bewegung setzt, so geht die Schale am Glas auf und ab, während dieses sich rasch um seine Axe dreht und so begreift man, wie ein Glas geschliffen werden kann, dessen Krümmung nach Brewster's Urtheil sehr genau ausfallen soll.

Eine ähnliche Maschine vom Mechanikus Stewart aus Bordeaux besteht in einer Art vertikalen Drehbank, welche die Schüssel umlaufen macht, während das Glas an einer Metallstange befestigt ist, deren Länge genau dem Halbmesser der zu schleifenden Krümmung gleich ist. Diese Stange ist nach Art eines Schiffskompasses in einem Doppelringe aufgehängt, dessen Mittelpunkt genau den Mittelpunkt der zu bearbeitenden Kugelfläche abgibt. Die Maschine bewegt das Glas nicht, sondern dies geschieht, wie bei

der gewöhnlichen Methode, mit der Hand, nur mit mehr Bequemlichkeit.

Am wünschenswerthesten würde eine solche Vorrichtung seyn, wie sie Legy im Modell ausgeführt hat. Das Glas ist ebenfalls an einer Radiusstange aufgehängt, deren Länge dem Krümmungshalbmesser der auszuarbeitenden Fläche gleich kommt. Diese Radiusstange, welche durch die Maschine selbst in eine hin- und hergehende Bewegung gesetzt wird, ruht mit dem um seine Axe rotirenden Glase auf der ebenen Schleifschale, die ebenfalls in eine rotirende und hin- und hergehende Bewegung versetzt wird. Dadurch wird nach und nach jeder Theil des Glases mit jedem Theile der ebenen Schleifschale in Berührung gebracht, wodurch ersteres nothwendig eine sphärische Gestalt erhalten muß, die von der Länge des Radius abhängt. So wäre man denn der Mühe, für jedes Glas eine oder gar zwei Schleifschalen auszuarbeiten, gänzlich überhoben. Convexe Gläser werden auf einer bauchigten Reibschale geschliffen.

§. 230.

Vom Centriren der Gläser.

Wir haben schon früher auf die Wichtigkeit der Eigenschaft aller Linsen aufmerksam gemacht, daß sie richtig centrirt sind, d. h. daß der Rand genau kreisrund abgeschliffen ist und die höchsten Punkte beider Kugeloberflächen, oder bei hohlen Flächen die tiefsten Punkte vom Rande gleich weit abstehen. Unter dieser Bedingung ist jede Linse centrisch oder centrirt, wenn die beiden Oberflächen sich schneiden, daher man Linsen, die starke Krümmungen haben, gleich so schleift, daß ihre Flächen sich schneiden, oder daß ihr Rand ganz scharf wird, denn dadurch ist man der Mühe überhoben, sie weiter zu centriren.

Solche Linsen aber, welche sehr flach gekrümmt sind, müssen immer eine gewisse Dicke am Rande behalten und sie werden dann richtig centrirt seyn, wenn der Rand allenthalben gleich stark ist, was man beim Schleifen immer sehr nahe zu Wege bringen kann, so daß eine Linse, wenn sie geschliffen ist, auch nahe centrirt ist.

Um annäherungsweise zu probiren, ob eine Linse centrirt sey, kann man auf folgende Weise verfahren. Man bedeckt die eine Fläche der Linse mit Papier, auf welchem aus demselben Mittelpunkte zwei Kreise gezogen sind; der Durchmesser des einen ist gleich dem Durchmesser der Linse und der des zweiten halb so groß. Den innern Kreis theilt man in 6 Theile und sticht mit einer Nadel 6 Oeffnungen hinein. Wenn man nun das bedeckte Glas der Sonne gegenüber hält und hinter ihm ein Papier aufstellt, so werden sich auf diesem, im Schatten der Linse, sechs lichte Punkte darstellen, und wenn diese Punkte alle in gleicher Entfernung zusammenlaufen und sich in einem einzigen Punkte vereinigen, so ist die Linse centrirt. Es versteht sich, daß diese Methode nur bei Sammelgläsern anwendbar ist.

Nachstehende Methode ist leichter. Wenn man die Linse einem beleuchteten Gegenstande gegenüber hält, so sieht das Auge wegen der Spiegelung an beiden Oberflächen zwei Bilder. Man halte nun die Linse gegen ein Kerzenlicht und entferne sich von diesem mit derselben so lange, bis die beiden reflectirten Bilder des Lichts klein werden und dem Auge mehr wie leuchtende Punkte erscheinen. Man wende nun das Glas, bis man die beiden Lichter genau an einer und derselben Stelle erblickt, so daß sie einander decken, oder das kleinere Bild genau in der Mitte des größern steht. Dieser Punkt, den man mittels einer Feder mit Tusche bezeichnet, ist der Mittelpunkt

der Linse. Man kann nun untersuchen, ob dieser Punkt der Mittelpunkt der Peripherie der Linse ist, wie es seyn soll. Ist dieses nicht der Fall, so wird die Centrirung der Linse nun dadurch hergestellt, daß man den Rand so abschleift, daß jener gefundene Mittelpunkt der Mittelpunkt der Peripherie wird.

§. 231.

Genauer wird das Centriren auf der Drehbank mittels der reflectirten Bilder bewirkt, indem man die Linse mit Kitt auf der Docke befestigt und nach dem Augenmaaße möglichst genau so richtet, daß sie centrisch läuft. Wenn man nun in einiger Entfernung von der Linse ein Kerzenlicht aufstellt und die Docke schnell umlaufen läßt, so werden die beiden reflectirten Bilder ruhig stehen, wenn die Mittelpunkte beider Flächen in den Mittelpunkt der Umdrehung fallen, oder die Axe der Linse in die Axe der Umdrehung zu liegen kommt. Wenn man nun den Rand der Linse in unverrückter Lage derselben rund abdreht, so wird alsdann auch die Linse centrirt seyn. Man kann auch die Peripherie mit einem durch einen Diamant eingeschnittenen Kreise bezeichnen und nach demselben den Rand der Linse in einer Schale von geringerm Krümmungshalbmesser abschleifen, was jedoch nur für kleinere Linsen angeht.

Wenn aber die Linse beim Umdrehen der Docke nicht centrisch läuft, so werden das eine oder das andere Bild, oder beide zugleich, sich im Kreise zu bewegen scheinen und dann muß man die Linse so richten, bis der vollkommene Stillstand beider Bilder eingetreten ist.

Man hält indessen diese Methode für Linsen zu größern achromatischen Objectiven nicht genau genug, weil sich der letzte Grad der Beweglichkeit der Bilder

nicht mehr beobachten läßt. Prechtl meint, daß Frauenhofer die vollkommene Centrirung seiner Linsen durch einen doppelten Fühlhebel erreicht habe, welcher aus zwei um denselben Mittelpunkt beweglichen einfachen Hebeln besteht und beinahe die Form einer Kneipzange hat, indem die beiden kurzen Arme gegen einander gebogen sind, die beiden längern aber gerade ausgehen und von einer zwischen ihnen befindlichen Feder fortwährend mit nicht gar zu starkem Druck aus einander gehalten werden. Wird nun der Rand der auf die Drehbank gebrachten Linse zwischen die vordern Arme gebracht, so werden die hintern einen gewissen Abstand von einander haben, und wenn bei der Umdrehung der Linse dieser Abstand unverändert bleibt, so läuft die Linse genau centrisch und kann nun rund gedreht werden. — Der längere Hebelarm kann etwa 50 mal länger seyn, als der kürzere, damit das Instrument recht empfindlich sey. — Diesen einfachen Gedanken hat Prechtl in seiner Dioptrik sehr schön bearbeitet; er setzt die Hebel nicht so zusammen, daß sie eine Zange bilden, weil man dann wegen der nothwendigen Kürze der kürzern Arme nur Gläser von geringer Dicke zwischen dieselben würde fassen können, sondern er bringt jeden Hebel auf einen besondern Schenkel und befestigt diese auf einer messingenen Platte so, daß man sie mehr nähern oder von einander entfernen, in jedweder Lage aber unveränderlich fest erhalten kann. Dieses geschieht durch zwei Schrauben, wovon die eine, wie gewöhnlich, durch den Schenkel und die Platte hindurch geht, die andere aber in einem Schlitze der Platte beweglich ist. Die beiden Hintertheile der Schenkel werden durch eine Feder aus einander getrieben, während die beiden vordern durch eine Stellschraube genähert oder entfernt werden können. Zwei Federn drücken gegen den langen Arm der beiden Fühlhebel, damit das Ende des

kürzern, welcher aus einem vorn abgerundeten Stahlstücke besteht, gegen die beiden Flächen der mit der Spindel der Drehbank umlaufenden Glaslinse gedrückt wird. Am hintern Ende der genannten Schenkel sind Abtheilungen, um den gleichen oder veränderten Stand der langen Hebelarme zu bemerken. Das ganze Instrument kann eine in der Mitte der Messingplatte befindliche Schraube mit einem Griff auf einen in die Auflage der Drehbank gesetzten Träger geschraubt werden.

§. 232.

Von der Verfertigung der Metallspiegel zu optischen Zwecken.

Die Spiegel, welche zu optischen Zwecken gebraucht werden, sind theils metallene, theils gläserne, da aber, wie schon bemerkt, die letztern doppelte Bilder machen, so sind sie zu Fernröhren und Microscopen nicht tauglich, weil die Deutlichkeit des Hauptbildes, welches die belegte Fläche erzeugt, von dem immer noch ziemlich lebhaften Bilde, das von der Vorderfläche der Glasplatte reflectirt wird, ungemein beeinträchtigt wird. Die Fälle, wo Glasspiegel in Anwendung gebracht werden können, sind bei der Beschreibung der optischen Instrumente erwähnt worden.

Von dem genannten Fehler der Glasspiegel sind nun zwar die Metallspiegel frei, aber bei ihrem Gebrauche treten andere Schwierigkeiten ein, welche die Verfertigung solcher Spiegel zu einer höchst schwierigen Sache machen, die nur von wenigen Künstlern geleistet worden ist. Zuerst kommt es nämlich darauf an, ein Metall zu suchen, oder vielmehr eine Metallmischung, welche fähig ist, eine sehr hohe Politur anzunehmen, damit die Spiegelung, bei welcher ohnehin schon sehr viel von dem einfallenden Lichte verloren geht, möglichst vollkommen sey, und dann muß die polirte Oberfläche auch die Eigenschaft besitzen,

daß sie von der Luft und den darin schwimmenden fremdartigen Dämpfen nicht angegriffen werde, das heißt, daß sie lange Zeit dem Rosten widerstehe. Wenn nun aber auch diese Schwierigkeit beseitigt ist, so ist die Ausarbeitung des Spiegels selbst doch eine eben so mißliche, wenn nicht noch mißlichere Sache. Zwar ist das Schleifen ebener und sphärisch gekrümmter Metallspiegel wohl nicht schwieriger, als die Ausarbeitung ebener und sphärischer Glasflächen; wenn aber concave Spiegel zu Telescopen verwendet werden sollen, so müssen sie, wie wir gesehen haben, eine parabolische Krümmung besitzen. Hiernach wird der Spiegel in der Mitte stärker gekrümmt, als am Rande und die Krümmung nimmt nach dem Rande hin stetig ab. Die Herstellung einer solchen Krümmung aber erfordert so viel practische Einsicht und Geschicklichkeit und beruht oft so sehr auf dem bloßen Zufalle, daß sie nur wenigen Künstlern glückt.

Wir wollen nun zunächst von dem Gusse der Metallspiegel und sodann von der Ausarbeitung parabolischer Krümmungen reden; denn hieraus läßt sich dann schon von selbst abnehmen, wie man beim Schleifen ebener und sphärischer Spiegel zu verfahren hat.

§. 233.

Ueber die Mischung von Metallen, welche sich zu Spiegeln am besten eignet, ist sehr viel in Vorschlag gebracht worden, jedoch scheint das, was Prechtl (Jahrbücher des polytechnischen Instituts in Wien, 18r. Bd) über diese Sache sagt, von so viel Umsicht und Erfahrung zu zeigen, daß ich andere Schriften übergehe und lediglich das mittheile, was in der genannten Abhandlung enthalten ist.

Das beste Spiegelmetall ist dasjenige, welches dem Gewichte nach aus 100 Theilen Zinn und 215

Theilen Kupfer besteht. Auf 1 Pfd. oder 32 Loth Kupfer kommen hiernach $14\frac{8}{9}$ Loth Zinn. Diese Mischung ist, wenn der Guß gehörig vollbracht worden, ganz weiß, sehr hart und einer vollkommenen Politur fähig. Jeder Zusatz eines andern Metalls, zumal des Arseniks, ist, wo nicht schädlich, doch wenigstens ohne Nutzen. Der Arsenik zumal disponirt die Legirung mehr zum Anlaufen in feuchter Luft. Man läßt zuerst das Kupfer unter Bedeckung mit Kohlen im Tiegel schmelzen; wenn es vollkommen im Fluß ist, hebt man den Tiegel aus dem Feuer und rührt das eingeworfene Zinn mittels eines hölzernen Spatels zusammen und gießt die Mischung in Wasser aus, um sie dann, wenn man den Guß des Spiegels vornehmen will, neuerdings umzuschmelzen. Dieses wiederholte Umschmelzen hat mehrere Vortheile: 1) bewirkt es eine innigere Mischung der Metalle, 2) wird der Guß reiner, während das Metall bei dem ersten Gießen leicht porös wird, indem sich Zinnoxyd demselben bei dem Umrühren einmengt; 3) ist zum Umschmelzen des Metalls eine weniger hohe Temperatur erforderlich, als bei der ersten Schmelzung; es ist aber aus dem nachher angegebenen Grunde vortheilhaft, wenn der Guß des Spiegels bei nicht zu großer Hitze erfolgt. Bei dem Umschmelzen des Metalls ist darauf zu sehen, daß es im Tiegel nicht lange der Hitze ausgesetzt bleibe, bevor es in Fluß kommt, weil sich sonst ein Theil des Zinns ausseigert und verschlackt. Deshalb bringt man den Tiegel im Feuer zuerst zum starken Rothglühen, trägt dann das Metall nach und nach, so wie es allmählich in Fluß kommt, ein und gießt es dann aus, nachdem es vollkommen geschmolzen ist. Auf diese Art kann das Metall 5 bis 6 mal umgeschmolzen werden, ohne daß es an Farbe verliert. Das Gie-

ßen des Spiegels geschieht auf die gewöhnliche Art der Gelbgießer in Sand.

Das Gießen der Spiegel, besonders größerer, ist aber eine Sache, die nicht so leicht gut gelingt, denn wenn man den Spiegel, nachdem er nach dem bisherigen Verfahren hinreichend abgekühlt ist, aus der Form nimmt, findet man ihn gewöhnlich in mehrere Stücke zersprungen. Dieser Uebelstand tritt um so leichter ein, je größer die Masse des Spiegels ist. Da das Metall bei einem geringern Zusatze von Zinn weniger spröde ist und ohne Nachtheil eine längere Abkühlung verträgt, so sah man sich genöthigt, auf Kosten der Qualität des Spiegels den Zusatz von Zinn zu vermindern, so wie die Masse des Spiegels zunahm, und nach **D.** Pearson's Angabe enthielt der 20füßige Reflector von W. Herschel nur 7.75 Theile Zinn auf 20 Kupfer, und dieses Verhältniß war bei dem 40füßigen noch geringer.

Diese Schwierigkeiten veranlaßten den Lord Ormantown, größere Spiegel aus einzelnen Stücken zusammenzusetzen. Er fand eine Legirung aus 11 Theilen Kupfer und 4 Theilen Zink von derselben Ausdehnung für gleiche Temperaturunterschiede, wie das Spiegelmetall. Aus dieser Metallmischung wurde daher eine Scheibe von der erforderlichen Größe gegossen und abgedreht, auf derselben wurden die Stücke Spiegelmetall $\frac{1}{4}$ Zoll dick mittels Zinn aufgelöthet und diese Fläche dann geschliffen und polirt.

Bei dem Gießen der Metallspiegel ging man immer von der Voraussetzung aus, daß, wie dieses bei Glas der Fall ist, ein allmähliges Abkühlen derselben nach dem Gusse stattfinden müsse, um das Springen zu verhüten, und wenn dieses dennoch eintrat, schrieb man es eher der unvollkommen bewirkten Abkühlung, als dieser langsamen Abkühlung selbst zu und fand demnach kein anderes Mittel, als in

der Verminderung des Zinngehalts der Legirung. J. Mac Culloch ist der Einzige, den die Versuche dahin brachten, einzusehen, daß das schönste Spiegelmetall dasjenige sey, welches durch eine schnellere Abkühlung erhalten wird und daß sich dessen Qualität, auch bei ungeändertem Mischungsverhältnisse durch die eintretende Krystallisation um so mehr verschlechtere, je langsamer die Abkühlung erfolgt. Die Krystallisation nämlich, welche der des Spießglanzes ähnlich ist und wozu das Spiegelmetall eine große Neigung hat, besonders wenn der Zusatz von Zinn vermehrt wird, verschlechtert in sofern die Qualität des Spiegels, als der Durchgang der Krystalle eine vollkommene Politur, wie sie die Spiegelung erfordert, unmöglich macht und die Festigkeit der Masse verloren geht; denn die Krystallisation der Masse geht nicht in allen Theilen gleichzeitig und gleichmäßig von statten, womit eine nicht nach allen Richtungen ganz gleichförmige Zusammenziehung und ein leichtes Springen in Verbindung steht.

Prechtl schlägt daher vor, die Neigung der Spiegelmasse zur Krystallisation nicht durch eine Verminderung des Zinngehalts zu vermindern, wodurch die Güte beeinträchtigt werden würde, sondern vielmehr durch eine schnelle Abkühlung der Masse, damit bei der schnellen Erstarrung der Krystallisation zu ihrer Ausbildung keine Zeit gelassen werde. Seine Versuche hierüber ergaben folgende zwei Resultate:

1) Wenn man, wie gewöhnlich die Vorschrift lautet, so verfährt, daß man das ausgegossene Spiegelmetall, vorausgesetzt, dieses bestehe aus der besten Mischung, langsam abkühlen läßt, indem man das glühende Metall mit glühenden Kohlen oder Asche bedeckt oder die Form mit dem Metall in die Nähe des Feuerheerds stellt, damit sie ihre Wärme nur langsam verliere, so wird man die Metallscheibe, wenn

diese einen größern Durchmesser, als etwa 4 Zoll hat und nicht übermäßig dick im Metall ist, selten anders, als in Stücke gesprungen erhalten. Die Bruchflächen zeigen eine sehr ausgebildete Krystallisation mit spiegelnden Flächen, die Aehnlichkeit mit jener des Spießglanzes hat. Diese Krystallisation ist um so deutlicher und vollständiger, je länger die Abkühlung gedauert hat. Die Masse ist dabei sehr spröde und zerbricht leicht bei Stößen. Bleibt unter diesen Umständen eine Metallscheibe auch zufällig ganz, so ist sie des Schleifens nicht werth; denn das Metall nimmt niemals die hohe Politur an, welche es, von derselben Mischung, aber schneller abgekühlt, annehmen kann, sondern die Oberfläche erhält einen bläulich grauen Reflex.

2) Wenn man dagegen das Metall, nachdem es in der Form erstarrt ist, schnell abkühlt, so daß die Krystallisation sich nicht auszubilden Zeit hat, so bleibt die Metallscheibe nicht nur ganz, sondern das Metall erhält selbst eine solche Festigkeit, daß starke Stöße dazu gehören, es zu zerbrechen, selbst wenn die Scheibe nicht viel dicker als einen Viertelzoll ist. Im Bruche zeigt das Metall keine ausgebildete Krystallisation, sondern der Bruch ist mehr oder weniger flach muschlig, fein und glänzend, ähnlich dem Bruche von Feuerstein. In diesem Zustande hat das Spiegelmetall seine größte Vollkommenheit; es ist silberweis, hart, mit der nöthigen Festigkeit und gibt nach der Politur eine vollkommene spiegelnde Fläche, welche die Gegenstände in ungeänderter Farbe darstellt.

Zwischen diesen zwei Zuständen der ausgebildeten Krystallisation und des Verschwindens derselben finden bei derselben Metallmasse viele Uebergänge oder Zwischenzustände statt, die immer von der Zeit der Abkühlung der ganzen Masse oder einzelner Portionen derselben abhängen. Je flacher der muschlige Bruch

ist, desto mehr ist jede Spur einer krystallinischen Absonderung verschwunden, und umgekehrt fängt diese wieder an aufzutreten, sobald der Bruch kleinmuschlig wird. Bei dünnen Scheiben, die sich am leichtesten schnell abkühlen, findet man daher gewöhnlich den Bruch am schönsten; bei dicken Scheiben hingegen zeigt er sich am besten an den Außenseiten, wo die Abkühlung am schnellsten vor sich ging; gegen das Innere und die Mitte, wo die Masse am spätesten erstarrte und am längsten ihre Hitze behielt, wird er schlechter, nämlich mehr kleinmuschlig und selbst krystallinisch.

Auf welche Weise man die schnelle Abkühlung am besten bewirken könne, muß von der Masse abhängen, mit welcher man es zu thun hat. Es kommt hier nur darauf an zu verhindern, daß die Metallmasse nach dem Gusse nicht lange im glühenden Zustand oder in einer diesem sich nähernden Temperatur bleibe. Je dünner also die Scheibe ist, desto leichter ist dieser Zweck erreicht, indem dieser Grad der Abkühlung schon an der Luft in hinreichend kurzer Zeit erfolgt. Kleine Spiegel bis zu 6 Zoll im Durchmesser können in einer eisernen, vorher angewärmten Form gegossen werden und dann ist es hinreichend, nach dem Erstarren des Metalls die Form zu öffnen und die Scheibe an der Luft erkalten zu lassen, oder sie sogleich in kaltes Wasser zu legen, so daß das Wasser zu gleicher Zeit die Scheibe bedeckt. Dieses Einlegen in Wasser darf jedoch nicht früher geschehen, als bis die Scheibe schon die Glühhitze verloren hat und schwarz geworden ist. Gießt man im Sande, so muß sogleich, als der Einguß oder der verlorne Kopf erstarrt ist, die Form geöffnet und die Scheibe schnell vom Sande befreit werden, damit die Abkühlung der Luft auf das Metall wirken könne.

Bei einer größern Dicke der Spiegelscheibe, nämlich einer solchen, welche mehr als einen halben Zoll beträgt, wird die schnelle und gleichförmige Abkühlung aus dem bereits oben bemerkten Grunde schwieriger. Bei einer dicken Scheibe nützt die schnelle Abkühlung der äußern Flächen, z. B. durch Eintauchen in Wasser, nichts mehr, weil das Innere noch flüssig ist, während die Außenflächen schon erstarrt und selbst bedeutend abgekühlt sind und zu der Fortleitung der Wärme von innen nach außen eine gewisse Zeit erfordert wird.

Man muß daher in diesen Fällen zur Erreichung des Zwecks noch andere Mittel zu Hilfe nehmen, nämlich: 1) daß man das Metall nicht zu heiß gießt, sondern, nachdem es vollkommen geschmolzen ist, es nach Ausnehmung des Tiegels und nach Abziehung der Schlacke und der Kohlen von seiner Oberfläche noch so weit erkalten läßt, daß es die Form noch gut auszufüllen im Stand ist; 2) daß man die Spiegelscheibe nicht dicker macht, als zu ihrer Haltbarkeit und der Unbiegsamkeit nöthig ist und für jene Fälle, wo eine Dicke von mehr als ½ Zoll nothwendig wäre, sie auf der Rückseite mit Rippen gießt.

Da ein Uebermaas in der Dicke der Spiegelscheibe nicht nur einen überflüssigen Aufwand an Metall verursacht, sondern auch den eben erwähnten wesentlichen Nachtheil mit sich führt, so kann man sich in der Bestimmung der Dicke nach folgender Regel richten:

Man ziehe aus dem Durchmesser der Scheibe die Quadratwurzel und dividire dieselbe mit 4, so hat man die Dicke.

Bei dieser Regel ist angenommen, daß ein Spiegel von 1 Zoll Durchmesser eine hinreichende Festigkeit zur Vermeidung des Biegens bei einer Dicke von ¼ Zoll habe.

Also erhält ein Spiegel

von	4	Zoll	eine	Dicke	von	0.5 Zoll
„	6	„	„	„	„	0.61 „
„	9	„	„	„	„	0.75 „
„	12	„	„	„	„	0.866 „
„	18	„	„	„	„	1.06 „
„	24	„	„	„	„	1.25 „

Demnach kann man höchstens noch den 6zölligen Spiegel in einer gleichförmigen Dicke gießen; über dieser Größe ist es jedoch vortheilhafter, ja um die beiden erwähnten wichtigen Vortheile der schnellen Abkühlung nicht zu verlieren, nothwendig, dem Spiegel nur eine gleichförmige Dicke von $\frac{1}{2}$ Zoll zu geben und ihn auf der Rückseite mit parallelen, unter rechten Winkeln sich durchkreuzenden Rippen von $\frac{1}{2}$ Zoll Breite und der nach den Dimensionen erforderlichen Höhe zu gießen, wodurch man zugleich bei demselben Aufwande von Metall eine bedeutend größere Stärke und Unbiegsamkeit erlangt, oder selbst einen Theil des Metalls ersparen kann. Versieht man z. B. die Rückseite des 24zölligen Spiegels mit 8 sich durchkreuzenden Rippen von $\frac{1}{2}$ Zoll Breite und 3 Zoll Höhe, während die Dicke der Scheibe selbst $\frac{1}{2}$ Zoll beträgt, so braucht man für diesen Guß beiläufig um 100 Kubikzoll Metall weniger, als bei der gleichförmigen Dicke von $1\frac{1}{4}$ Zoll, obgleich bei jener Einrichtung der Spiegel noch eine bedeutend größere Unbiegsamkeit erlangt, als im letzten Falle. Da man nun auf diese Art nur durchaus mit Metallstärken von $\frac{1}{2}$ Zoll zu thun hat, so unterliegt die schnelle Abkühlung keiner Schwierigkeit, wenn man nach dem Gusse so schnell als möglich den Sand von den Flächen der Scheibe und der Rippen entfernt.

§. 234.

Wir kommen nun an die Verfahrungsart, durch welche man einen Spiegel schleifen und poliren, und

ihm namentlich eine parabolische Krümmung geben kann. Ehe man aber an die Herstellung der parabolischen Gestalt denken kann, muß der Spiegel zuerst sphärisch so weit bearbeitet werden, bis er zum Poliren geschickt ist. Man erinnert sich hierbei sogleich, daß man den Halbmesser, nach welchem die Oberfläche des Spiegels gekrümmt seyn muß, doppelt so groß zu nehmen habe, als die hervorzubringende Brennweite, daß also z. B. der Krümmungshalbmesser 4 Fuß betragen muß, wenn die Brennweite 2 Fuß lang ausfallen soll.

Die krumme Linie, welche wir Parabel nennen, hat die Eigenschaft, daß ihre Krümmung am Scheitel am größten ist und von da nach beiden Seiten hin auf gleiche Weise abnimmt, also daß auch ein parabolischer Hohlspiegel in der Mitte stärker gekrümmt ist, als nach dem Rande zu. Da aber doch im Allgemeinen die Oberfläche des Spiegels im Verhältniß zu seiner Brennweite nicht gar breit ist, so werden die beiden Krümmungen, die sphärische und die parabolische, bei welchen gleiche Brennweite stattfindet, nicht sehr von einander abweichen. Denkt man sich, daß sich beide in der Mitte berühren, so wird die sphärische Fläche von der parabolischen eingeschlossen und ihr Abstand am Rande beträgt bei Spiegeln mittlerer Größe oft kaum die Dicke eines Menschenhaars, und man sieht hieraus zur Gnüge, wie fein die Ausarbeitung eines parabolischen Hohlspiegels sey.

Man kann den Abstand zwischen der sphärischen und parabolischen Spiegelfläche, wenn beide sich in ihrer Mitte berühren und zu gleichen Brennweiten gehören, für verschiedene Entfernungen von der Mitte berechnen. Es sey nämlich die Entfernung von der Mitte, in welcher der Abstand gemessen werden soll,

= y, der Abstand selbst = D und die Brennweite beider Spiegelflächen p, so ist

$$D = \frac{y^4}{64\,p^3}.$$

Es sey z. B. die Brennweite eines Spiegels p = 30 Zoll und seine Oeffnung = 6 Zoll, so wird

für y = 1 Zoll, D = 0.00000058 Zoll
„ y = $1\frac{1}{2}$ „ D = 0.00000293 „
„ y = 2 „ D = 0.00000926 „
„ y = $2\frac{1}{2}$ „ D = 0.00002260 „
„ y = 3 „ D = 0.00004687 „

Also selbst in der Entfernung von 3 Zoll vom Mittelpunkt oder am äußersten Rande des Spiegels beträgt der Abstand zwischen der parabolischen und sphärischen Fläche noch nicht $\frac{5}{100000}$ eines Zolles; die Dicke eines Goldblättchens der Goldschläger ist 0.0000055 Zoll, die Dicke eines Goldschlägerhäutchens 0.00016 Zoll.

§. 235.

Wenn also die gute Wirkung eines parabolischen Hohlspiegels auf so feinen Abmessungen beruht, so begreift man sehr leicht, daß die Herstellung und das Gelingen eines solchen eine sehr mißliche Sache seyn müsse. So lange die parabolische Form blos aus freier Hand erhalten werden soll, ist sie eine Sache des bloßen Zufalls und kann selbst einem geschickten Künstler oft mißlingen, so daß ein Spiegel oftmals überarbeitet werden muß, bevor er hinreichend brauchbar ist. Daher kommt es auch, daß kein einziger von den Künstlern, welche gute Spiegel verfertigt haben, eine Anleitung zur Herstellung der parabolischen Form hinterlassen hat.

Da der Unterschied oder vielmehr der Abstand zwischen der sphärisch und parabolisch gekrümmten

Fläche so gering ist, so muß man natürlich zuerst den Spiegel genau kugelförmig ausarbeiten und zwar so weit, bis er zum Poliren geschickt ist, und erst dann darf man an die Umänderung der sphärischen Krümmung in die parabolische denken. Dieses sphärische Ausschleifen, wobei der Krümmungshalbmesser, wie man sich erinnert, doppelt so groß seyn muß, als die beabsichtigte Brennweite, ist nun keine schwierige Sache und kann auf mancherlei Weise bewerkstelligt werden. Zuvörderst hat nämlich der Spiegel schon durch das Eingießen in die Form eine beiläufige Gestalt erhalten und diese kann man weiter dadurch vervollkommnen, daß man den Spiegel auf einer guten Drehbank in ein Futter spannt und nach einem, vorher genau nach dem zu gebenden Halbmesser ausgeschnittenen Lehrbogen mit dem Support so genau als möglich ausdreht. Edwards verrichtet dasselbe auf einem gewöhnlichen Schleifsteine, der ziemlich nach der Lehre der auszuarbeitenden Krümmung abgedreht worden ist. Den Schleifstein kann man leicht der Lehre gemäß gestalten, wenn man beim Drehen desselben mit einem dagegen gehaltenen scharfen Eisen ihn so weit ausarbeitet, bis er überall die Krümmung der Lehre erhalten hat.

Zur weitern Bearbeitung bediente sich Edwards eines convexen Werkzeugs, das aus einer Mischung von Zinn und Blei oder aus Zink bestand und schliff damit den Spiegel mittels feinen Schmirgels aus, wobei indessen der Spiegel viele Schmarren und kleine Vertiefungen bekommt, wenn auch der Schmirgel noch so fein ist.

Wenn nun der Spiegel auf diese Art die richtige sphärische Gestalt erhalten hat, so muß er ferner noch fein geschliffen und zum Poliren vorbereitet werden. Man kittet mittels Pech auf eine metallene Scheibe, die nicht viel größer seyn darf, als der Spie-

gel, Stücke von dem gewöhnlichen blauen Wetzsteine, der von einem feinen und blauen Korne seyn muß, parallel neben einander auf, in Zwischenräumen von etwa ¼ Zoll zwischen den Stücken. Diese Scheibe wird nun gleichfalls nach dem Halbmesser des Spiegels auf der Drehbank convex abgedreht und auf ihr der Spiegel mit Wasser vollends fein geschliffen. Man darf jedoch nicht auf einmal zu viel Wasser auf das Wetzsteinlager bringen, sonst bekommt man eine schlechte Gestalt, die sich gleich dadurch offenbart, daß dann die Oberfläche des Metalls an verschiedenen Stellen einen verschiedenen Grad des Glanzes hat.

Nunmehr beginnt das schwierigste Geschäft, das Poliren des Spiegels. Zu diesem Zwecke wird das genannte, aus einer Mischung von Blei und Zinn bestehende Instrument, das vorher etwas erwärmt worden ist, mit geschmolzenem Pech übergossen, so daß der Ueberzug, der mit einem eisernen Spatel gehörig gleichmäßig ausgebreitet wird, ungefähr die Stärke einer halben Linie besitzt. Wenn der Pechüberzug etwas kalt geworden ist, drückt man ihn auf die zum Poliren vorbereitete Spiegelfläche, die man vorher mit kaltem Wasser benetzt hat, wodurch das Pech vollkommen die Gestalt des Spiegels annimmt. Wenn der Polirer seine gehörige Gestalt bekommen hat, so erwärmt man ihn etwas am Feuer und drückt dann in die Oberfläche des Pechs durch einen sanften Druck mit der Messerschärfe einige parallele sich durchkreuzende Linien ein. Diese Vertiefungen nehmen die kleine Portion Metall in sich auf, die sich beim Poliren abreibt und dieses trägt viel dazu bei, daß die Gestalt des Spiegels richtig wird. Mit einem Federmesser nimmt man auch das überflüssige Pech vom Rande des Polirers weg.

Das Poliren geschieht mit fein geschlemmtem Kolkothar und Wasser. Edwards gibt dem Polirinstru-

mente nicht die Form eines Kugelsegments, sondern die einer Ellipse, deren kleine Axe dem Durchmesser des Spiegels gleich ist und sich zur großen Axe genau wie 9 zu 10 verhalten soll. Durch diese Einrichtung wird, wie der Erfinder behauptet, die parabolische Form ohne alles weitere Zuthun erhalten, wenn der Spiegel bis 4 Zoll Oeffnung hat. Man führt auf ähnliche Weise, wie beim Poliren der Gläser, den Spiegel auf dem Polirinstrumente, das auf einem Block befestigt ist, nach allen Richtungen kreuzweise hin und her und im Kreise herum, bis er die vollkommene Politur erhalten hat, und zu dem Ende wird auf die Rückseite des Spiegels eine bleierne Handhabe mit Pech aufgekittet, die ¾ vom Durchmesser desselben betragen und doppelt so große Dicke haben, auch mit ihm einerlei Convexität und Concavität haben muß.

Das Polirinstrument hat in der Mitte ein Loch, um eine bessere Gestalt des Spiegels zu erzielen, und wenn dieser einem Gregorianischen Telescop angehört, so ist das Loch der Polirscheibe nur wenig kleiner, als das Loch des Spiegels. Ueberhaupt muß man darauf Obacht geben, daß sich während des Geschäfts des Polirens die Temperatur nicht merklich ändere, auch darf man die Handhabe nicht durch einen gewaltsamen Schlag von ihm trennen, weil er sonst bei der Erschütterung seine Form leicht wieder verlieren könnte.

In der Mitte der Handhabe, an welche der Spiegel gekittet ist, muß ein Loch mit einer Schraube aus Kupfer oder Messing angebracht werden, damit man sie mit dem Spiegel auf eine metallene Drehbank schrauben könne, um den Rand des Metalls zu ebenen, welches zuerst mit einer feinen Feile und dann mit einem Wetzsteine geschieht.

Noch vor Edwards gab Mudge eine sehr umständliche Beschreibung seiner Methode bei Verfertigung von Metallspiegeln, die bis 4 Zoll Durchmesser haben. Er räth, den Spiegel auf den Wetzsteinen anfangs genau sphärisch zu schleifen und auf die Abänderung der Gestalt erst beim Poliren zu denken. Die Polirscheibe ist in der Mitte eben so, wie der Spiegel (der in ein gregorianisches Telescop gehört) durchlöchert und letzterer erhält zuerst eine richtige sphärische Gestalt, deren Daseyn sich durch das Gefühl der Gleichförmigkeit bei der Bearbeitung offenbart.

Am Ende der ganzen Operation aber verstopft Mudge das Loch in der Polirscheibe mit Kork, der nicht ganz bis an die Oberfläche reicht, reinigt diese Oberfläche mit einem feuchten Schwamme, setzt den Spiegel, indem sie noch feucht ist, darauf, trägt mit dem Pinsel rund herum so viel Wasser auf, als der hervorspringende Rand der Scheibe fassen kann, gießt auch Wasser in das Loch des Spiegels und läßt dies alles 2 bis 3 Stunden stehen, um eine innige Berührung beider Flächen und völlig gleiche Wärme zu erhalten.

Hierauf zieht er den Kork aus, läßt das Wasser ablaufen und bewegt den Spiegel zuerst gelind und langsam in einem sehr kleinen Kreise um den Mittelpunkt der Polirscheibe (welche Bewegung anfänglich etwas schwer geht), dann macht er allmählich Kreise von größerm Durchmesser und dreht dabei immer den Spiegel um seine Axe, doch ohne weitern Druck, als den das Gewicht des Spiegels gibt, den er ganz leicht zwischen den Fingern hält. So verfährt er etwa zwei Minuten fort, verändert dabei immer seine Stellung gegen den Block, worauf die Polirscheibe fest ist und führt die Kreise mit immer vergrößertem Durchmesser so weit, bis der Rand des Spiegels et=

wa ½ bis ⅝ Zoll über den Rand der Scheibe hinausgeht. Hierbei wird nun die stärkere Krümmung in der Mitte durch die anfänglich engen und nachher immer weiter geöffneten Kreise des Streichens hervorgebracht.

Man kann mit kurzem die Kunst, dem Spiegel die parabolische Krümmung zu geben, darin zusammenfassen, daß man den Spiegel oder das Polirinstrument auf eine besondere Art führt und den Druck dabei so geschickt verändert, daß der Spiegel in der Mitte etwas stärker als am Rande angegriffen wird, wodurch er auch in der Mitte etwas mehr gekrümmt wird und wenigstens eine Annäherung an die parabolische Gestalt erhält. Aber der gute Erfolg ist lediglich Sache des Zufalls.

§. 236.

Weniger vom Zufall abhängig ist die Methode, deren Prechtl sich zur Erhaltung der parabolischen Form bedient hat. Er bedient sich zum Schleifen und Poliren seiner Radiusvorrichtung, welche in §. 229 der Hauptsache nach angedeutet worden ist. Er befestigt den Spiegel, nachdem er vorher auf der Drehbank nach dem Leerbogen so genau als möglich ausgedreht worden, central am untern Ende der Radiusstange und schleift ihn auf dem Wetzsteininstrumente vollkommen sphärisch aus; das Poliren aber geschieht vom Rande aus nach dem Mittelpunkte hin zonenweise und verbreitet sich nicht über den ganzen Spiegel auf einmal. Bei der ersten Zone ist der Radius am längsten und dann nimmt er nach und nach ab, so wie es die nach dem Mittelpunkte zu stärker werdende Krümmung erfordert. Wie lang jedesmal der Krümmungshalbmesser, d. h. die Radius=

stange seyn müsse, kann man aus der Formel entnehmen:

$$2p + \frac{y^2}{2p},$$

wo p die Brennweite und y die Entfernung vom Mittelpunkte der Spiegelfläche bedeutet. Die Unterschiede in der Länge der Radiusstange werden dabei nur sehr gering und gehen bei einem Spiegel von 6 Zoll Oeffnung und 30 Zoll Brennweite nicht über $1\frac{1}{2}$ Linien. Um daher sehr kleine Verlängerungen der Radiusstange anzuzeigen, setzt das obere Ende derselben bei jeder Aenderung der Länge einen Fühlhebel in Bewegung, welcher einen Grad seiner Eintheilung durchläuft bei einer Verlängerung der Stange um $\frac{1}{1000}$ Zoll. Dieser Fühlhebel bewegt beim Fortrükken durch einen Grad noch einen zweiten durch 25 Grad, so daß sich Aenderungen in der Länge der Stange von $\frac{1}{25000}$ Zoll und noch darunter wahrnehmen lassen.

Das Poliren geschieht mit Pech auf die gewöhnliche Weise, jedoch soll während dieser Arbeit keine neue Portion Kolkothar aufgegeben, sondern das Poliren, wenn man es einmal angefangen hat, unausgesetzt fortgesetzt werden, indem man von Zeit zu Zeit reines Wasser oder Kalkwasser zugibt.

Man hat auch Maschinen erfunden, um dem Spiegel die gehörige Gestalt zu geben; der Mechanismus ertheilt dem Polirinstrumente mannichfaltige Bewegungen auf der Fläche des Spiegels, bis dieser seine vollkommene Politur erreicht hat. Doch möchte dabei das Gelingen wohl eben so sehr vom Zufall abhängen, als beim Poliren aus freier Hand.

§. 237.

Verfertigung von ebenen Glasspiegeln.

Die Spiegelgläser, welche zu ebenen Spiegeln benutzt werden sollen, müssen möglichst rein, ohne Bläschen, Adern und Streifen seyn; Eigenschaften, welche nicht leicht zu erhalten sind, besonders wenn große Tafeln verlangt werden. Die Art und Weise, wie die Spiegelgläser in den Fabriken gegossen werden, gehört nicht hierher; man kann hinlänglichen Unterricht darüber in Leng's Handbuche der Glasfabrication, Weimar bei Voigt 1835 finden.

Die Gläser müssen, ehe sie belegt werden, vollkommen gut geschliffen und polirt werden. Hierbei tritt eben die Schwierigkeit ein, welche die Ausarbeitung eines vollkommenen Planglases zu einer so mißlichen Sache machen, die Schwierigkeit nämlich, einen vollkommenen Parallelismus der beiden Glasflächen zu erzielen; denn wenn diese Flächen schief gegen einander liegen, so wirkt das Glas wie ein Prisma und unter andern Fehlern wird besonders der der doppelten Bilder merklich.

Sehr kleine Spiegelgläser lassen sich auf dieselbe Art auf einer Planschale schleifen und poliren, wie die ebenen Flächen der Linsengläser. Gläser von größeren Dimensionen aber kittet man mit Gyps auf eine Tafel und reibt auf ihnen eine andere Glastafel, die an ein Holz von der Form eines Parallelepipedons gekittet ist, zuerst mit feinem Sande, hernach mit Schmirgel so lange, bis die beiden Glastafeln sich vollkommen eben geschliffen haben und keine Ritze mehr darin vorhanden sind. Man kann dieses Abreiben auch mittels einer eisernen Planschale vollbringen. Das Poliren geschieht mittels eines aus trocknem harten Holze gut gehobelten Parallelepipedums,

dessen eine Seite mit Leder überzogen wird, auf welchem man feinen Kolkothar aufreibt.

Hat das Glas seine vollkommene Politur erlangt, so ist es zum Belegen geeignet. Man breitet zu dem Ende auf einer marmornen Tafel, welche mit einem Rahmen eingefaßt ist, ein Zinnblatt, das etwas größer ist, als der zu belegende Spiegel, recht sorgfältig und glatt aus, damit keine Runzeln darin bleiben, gießt etwas Quecksilber darauf und reibt dasselbe mit Wolle oder Baumwolle aus, damit das Zinn allenthalben durchfressen werde oder sich verquicke. Hernach schüttet man noch so viel Quecksilber auf das Zinnblatt, daß dieses allenthalben damit bedeckt wird und legt sodann das Glas darauf, wobei man es in schräger Lage von dem untern nach dem obern Rande hinführt, um das Oxydhäutchen auf die Seite zu schieben, welches sich auf der Oberfläche des Quecksilbers, nachdem man es abgenommen hat, alsbald wieder bildet, und verursacht, daß die Spiegelbelegung matt und fehlerhaft wird. Man muß bei dieser Operation große Vorsicht anwenden, damit man nicht die Folie durch den Rand des Glases beim Darüberhinschieben zerreiße, und überhaupt gehört Uebung, Behendigkeit und Erfahrung zu diesem Werke, welche man sich indeß nach einigen Versuchen bald angeeignet haben wird. Die Spiegelplatte muß schnell auf die Folie niedergelegt werden, sobald das Oxydhäutchen auf die Seite geschoben ist. Man beschwert nun die Glasplatte, auf welche man eine Filzdecke gelegt hat, mit Gewichten und neigt die Tafel, auf welcher sie liegt, binnen 24 Stunden immer mehr und mehr, damit alles überflüssige Quecksilber ablaufe. Alsdann hat sich das Zinnblatt allenthalben fest angelegt und man kann nun den Spiegel von der Tafel abnehmen und ihn mehrere Wochen lang an einen geeigneten Ort lehnen, um alles übrige Queck-

silber vollends ablaufen und das Amalgama völlig hart werden zu lassen. Hierbei muß man alle Erschütterung vermeiden, weil das Amalgam anfangs sehr weich ist und sich leicht ablöst.

Bei kleinern Spiegeln kann man, um weniger Aufwand zu machen, die Folie auf ein ebenes Bret ausbreiten und mit einem Wachsrand umgeben, um das Weglaufen des Quecksilbers zu verhindern, im Uebrigen aber wie vorher verfahren.

Nach ältern Vorschriften soll man den Tisch mit Löschpapier belegen, gepulverte Kreide darüber ausstreuen und hernach das Zinnblatt auflegen. Dieses soll allenthalben reichlich mit Quecksilber übergossen werden, welches man mit Baumwolle ausbreitet, und nachdem das Zinn sich verquickt hat, soll man ein Blatt Papier darauf ausbreiten und auf dieses das Glas legen. Mit der linken Hand drückt man das Glas auf und zieht mit der rechten das Papier darunter hervor, wodurch der Schmuz mit fortgenommen wird. Dann beschwert man das Glas mit Gewichten und verfährt übrigens wie schon gelehrt.

Ehe das Glas auf die Folie aufgelegt wird, muß man es vorher mit einer Potaschenauflösung oder Lauge und einem leinenen Lappen wohl reinigen, und wenn sie trocken geworden ist, nochmals abwischen, damit kein Schmuz und keine Feuchtigkeit darauf haften, weil sich sonst das Amalgama nicht fest anhängen würde.

Da das Belegen der Spiegel, besonders großer, viel Fertigkeit erfordert und dennoch selten ein Spiegel ganz rein ausfällt, so hat man vielfach auf andere Methoden gedacht. Unter anderm bemerke ich nur, daß Professor Lancellotti in Neapel hierzu ein Amalgam aus 3 Theilen Blei und 2 Theilen Quecksilber vorschlägt, welches, sobald es hart geworden ist, sehr fest anhaften und die Lichtstrahlen sehr gut reflec-

tiren soll. Man schmelzt erst das Blei, gießt dann das Quecksilber hinein und rührt die Masse mit einem eisernen Draht oder Spatel um. Diese Mischung wird, so lange sie noch flüssig ist, auf die erwärmte Glastafel gegossen, man muß aber vorher das Oxydhäutchen sorgfältig abnehmen, damit der Spiegel keine Flecken bekommt.

§. 238.

Verfahren, die hohle Seite eines Glases zu belegen.

Man bereitet sich hierzu zweierlei Sorten Gyps von verschiedener Feinheit; die erste Sorte, welche äußerst zart seyn muß, wird gewonnen, indem man den Gyps durch ein sehr feines Haarsieb hindurchgehen läßt, die zweite Sorte aber kann etwas gröber ausfallen. Nachdem man nun aus beiden Sorten einen rahmähnlichen Mörtel bereitet hat, bestreicht man die zu belegende Glasfläche mit Baumöl, jedoch nicht allzudick und gießt den feinern Mörtel darauf, so daß er das Glas beinahe 2 Linien hoch bedeckt. Ehe diese Schicht noch trocken ist, gießt man den gröbern Gyps über, damit er sich mit dem vorigen verbindet. Auf solche Weise erhält man eine Form, deren Oberfläche mit der des Glases genau congruirt. Die Form muß gerade so groß werden als das Glas.

Das Glas wird nicht eher von der Form abgehoben, als bis diese vollkommen trocken ist, aber bevor man dieses thut, muß man sich erst ein Merkmal machen, um nachher das Glas gerade so wieder in die Form legen zu können, wie es vorher gelegen hatte, denn ohne diese Vorsicht könnte die Belegung leicht mißlingen, wenn das Glas etwa nicht ganz genau sphärisch geschliffen wäre, in welchem Falle es nicht in jeder Lage genau in die Form passen würde.

Ueber die convexe Oberfläche der Form breitet man ein rund geschnittenes Zinnblatt aus, dessen Durchmesser wenigstens ½ Zoll größer ist, als wegen der zu belegenden Glasfläche erforderlich ist, damit man den über die Form überspringenden Rand des Zinnblattes umbiegen und mit Siegelwachs ankleben könne. Ehe man aber die Folie auf diese Weise befestigt, muß man sie auf der Gypsform sorgfältig ausbreiten, damit keine Falten übrig bleiben, denn die geringste Bauschung würde einen Flecken erzeugen und die Arbeit verderben. Mit einiger Sorgfalt und Geschicklichkeit kann man leicht zu diesem Zwecke gelangen, denn da das Zinn zart und dehnbar ist, so braucht man es nur gleichmäßig mit den Fingern zu drücken und die Mangelhaftigkeiten, die sich im Anfange zeigen, werden bald verschwinden. Dann befestigt man den Rand des Zinnblattes auf besagte Weise.

Die Belegung selbst geschieht nun auf folgende Weise: Man gebraucht einen wohlvernähten Sack mit feinem Sande, den man in eine Büchse oder in ein Kästchen legt, das gut zusammengefügt ist und welches inwendig am Boden mit Papier überleimt worden, damit das überflüssige Quecksilber nicht durch die Ritzen entweichen kann. Auf den Sack legt man nun das Glas so, daß es gleichmäßig aufgedrückt wird und mit allen Theilen gut aufliege. Die hohle Seite des Glases wird sorgfältig gereinigt, um allen Schmuz und besonders alle Feuchtigkeit davon wegzunehmen, auf dieselbe Weise, wie bei der Belegung ebener Glasplatten gelehrt worden. Die ganze Höhlung des Glases wird nun mit reinem Quecksilber gefüllt.

Man taucht nun das auf der Form befindliche Zinnblatt ein wenig in das Quecksilber; etwas davon bleibt am Zinn hängen und mit demselben glät-

tet man mit Hilfe eines Pfropfen von Wolle die ganze Oberfläche des Zinns. Dann bringt man die Form auf das Glas, nicht vertical darauf, sondern langsam von der Seite her nach der Mitte zu, bis die Mittelpunkte beider sich berühren, damit das auf der Oberfläche des Quecksilbers schwimmende Oxydhäutchen weggeschoben wird. Dabei muß man Sorge tragen, daß die oben genannten Merkmale an dem Glas und an der Form sich treffen, und wenn man dessen versichert ist, so überläßt man die Form ihrem eignen Gewichte. So bleibt das Ganze ungefähr eine halbe Stunde lang in Ruhe. Bei dieser Operation treibt die Form das überflüssige Quecksilber aus der Höhlung des Glases bei Seite; es läuft auf den Sack, von da in den Kasten, aus welchen man es durch eine Vorrichtung abzapfen kann.

Der beschriebene Apparat muß nun umgekehrt werden und hierzu bedient man sich eines zweiten Kistchens, aus dessen Mitte sich ein Träger für die Form ungefähr einen Zoll hoch über den Rand erhebt. Zwei Menschen sind zu diesem Geschäft erforderlich; jeder greift mit der einen Hand auf die Form, mit der andern faßt er die Kiste und indem sie behutsam das Ganze umdrehen, legen sie die Form auf den genannten Träger, wobei sie sehr vorsichtig seyn müssen, daß die Form unter dem Glase nicht verschoben werde. Das überflüssige Quecksilber läuft nun vollends ab und wenn der Sandsack nicht schwer genug seyn sollte, um das Glas gehörig auf die Form zu drücken, so kann man noch Gewichte auflegen. So läßt man alles zwei oder drei Tage stehen.

Bevor man das Glas von der Form abnimmt, muß man das Zinnblatt wieder von dem Gyps, woran es mit Wachs befestigt worden, ablösen, wozu man sich eines Federmessers bedienen kann. Hierauf

läßt man den Glasspiegel noch so lange stehen, bis das Amalgama die gehörige Härte erlangt hat.

§. 239.

Verfahren, ein Glas auf seiner convexen Seite zu belegen.

Man macht, wie bei der Aufgabe des vorigen §., eine Form, indem man die zu belegende erhabene Seite mit Gyps begießt, wodurch die Form concav wird. Man breitet nun die Folie sorgfältig in ihr aus, daß sie nirgends Falten und Bauschungen hat, reibt sie mit etwas Quecksilber, damit sie glänzend werde und sich verquicke, und gießt hierauf die ganze Form voll Quecksilber. Nachdem man das Glas sorgfältig mit einer Potaschenauflösung von Schmuz und Fettigkeit gereinigt und durch Abtrocknen von aller Feuchtigkeit befreit hat, bringt man es in die Form auf die Folie, mit der schon angezeigten Vorsicht, daß man es vom Rande nach der Mitte hin führt, um das auf dem Quecksilber schwimmende Oxydhäutchen bei Seite zu schieben. Eine große Quantität von Quecksilber wird hierbei aus der Form heraus laufen, da aber dieses noch nicht hinreicht, so legt man auf die Form einen Sandsack, kehrt das Ganze um und beschwert das Glas mit hinreichenden Gewichten. In dieser Lage läßt man es mehrere Tage ruhig stehen.

Man kann sich auch zu diesem Behufe derselben Schale bedienen, in welcher das Glas geschliffen worden ist, nur muß man sie vorher inwendig mit Papier oder einem feinen Tuche belegen und Sorge tragen, daß der Ueberzug keine Falten behält.

Um das Amalgama auf der Glasfläche möglichst vollkommen von allem Quecksilber zu befreien,

soll man auf den Tisch, worauf der Spiegel gelehnt ist, nachdem er aus der Form genommen worden, Zinnfolie legen, welche das in feinen Tropfen ablaufende Quecksilber aufnimmt und bald davon zerfressen wird. Ich glaube nicht, daß dies nöthig, man erfährt dadurch aber, ob alles überflüssige Quecksilber abgelaufen ist.

Wie man Glaskugeln inwendig mit Amalgama ausgießen kann, daß sie einen convexen Spiegel abgeben, ist schon §. 45 gezeigt worden. Man könnte sich dieser Methode auch bedienen, um die concaven oder convexen Flächen kleiner Glaslinsen zu belegen.

Einige Zusätze.

---

§. 240.

Zusatz zu §. 96. Man kann die Brennweite eines Zerstreuungsglases ungefähr auch auf folgende Weise bestimmen. Man kehrt es gegen die Sonne und hält ein Papier dahinter, gerade als ob man die Brennweite einer Convexlinse suchen wollte. Ob nun gleich kein eigentliches Bild der Sonne entsteht, so wird man doch einen kreisrunden Schatten der Zerstreuungslinse bemerken, und nun suche man die Entfernung des Papiers von der Linse, in welcher der Schatten doppelt so breit erscheint, als die Linse selbst. Diese Entfernung ist die gesuchte Brennweite. Die Sonnenstrahlen gehen nämlich so durch das Hohlglas, als ob sie aus dem Zerstreuungspunkte kämen und bilden sonach einen Kegel, dessen Grundfläche das Bild der Linse ist und dessen Spitze im Zerstreuungspunkte zu liegen scheint. Da nun die Linse nur halb so breit ist, als ihr Bild auf dem Papiere, so hal-

birt sie die Axe des genannten Kegels, deren Länge genau die doppelte Brennweite beträgt.

Zusatz zu §. 123. Es wird gewiß Vielen erwünscht seyn, wenn sie eine Tabelle haben, mittels welcher sie für jede gegebene abnorme Sehweite die Brennweite des erforderlichen Brillenglases leicht finden können. Die nachstehende Tabelle ist mehr als hinreichend. Sie ist eigentlich dreifach, das heißt sie gibt die Brennweiten der Brillengläser bei drei verschiedenen Annahmen der normalen Sehweite. Zuerst ist die normale Sehweite = 8 Zoll angenommen, da aber die hiernach berechneten Brillengläser in der Regel etwas zu scharf ausfallen, so findet man auch die Brennweiten für die Voraussetzung, daß die gesunde Weite des deutlichen Sehens = 9 Zoll sey. Unter Zollen ist das Pariser Maas zu verstehen; weil aber auch oft anderes, kleineres Maas gebraucht wird, so findet man noch die Brennweiten der Brillengläser für 10 Zoll normale Sehweite angegeben. So betragen z. B. 10 Leipziger Fuß etwas weniger, als 9 Pariser und wer also mit dem Leipziger Fuß oder mit einem ähnlichen, von diesem nicht viel unterschiedenen mißt, muß sich der Spalte bedienen, in welcher die Brennweiten für 10 Zoll normale Sehweite berechnet sind. Die Tabelle ist sonst unmittelbar klar und wir bemerken nur noch, daß die mit — bezeichneten Brennweiten Hohlgläser, die mit + bezeichneten aber Sammelgläser geben.

Tafel

der Brennweiten der Brillengläser für alle abnorme Sehweiten von 3 bis 50 Zoll, wenn die normale Sehweite 8, 9 oder 10 Zoll gesetzt wird.

Abnorme Sehweite.	Brennweiten der Brillengläser für die normalen Sehweiten von		
	8 Zoll.	9 Zoll.	10 Zoll.
Zoll.	Zoll.	Zoll.	Zoll.
3.0	— 4.8	— 4.5	— 4.3
3.1	— 5.1	— 4.7	— 4.5
3.2	— 5.3	— 5.0	— 4.7
3.3	— 5.6	— 5.2	— 4.9
3.4	— 5.9	— 5.5	— 5.1
3.5	— 6.2	— 5.7	— 5.4
3.6	— 6.5	— 6.0	— 5.6
3.7	— 6.9	— 6.3	— 5.9
3.8	— 7.2	— 6.6	— 6.1
3.9	— 7.6	— 6.9	— 6.4
4.0	— 8.0	— 7.2	— 6.7
4.1	— 8.4	— 7.5	— 6.9
4.2	— 8.8	— 7.9	— 7.2
4.3	— 9.3	— 8.2	— 7.5
4.4	— 9.8	— 8.6	— 7.9
4.5	—10.3	— 9.0	— 8.2
4.6	—10.8	— 9.4	— 8.5
4.7	—11.4	— 9.8	— 8.9
4.8	—12.0	—10.3	— 9.2
4.9	—12.6	—10.8	— 9.6

Abnorme Sehweite.	Brennweiten der Brillengläser für die normalen Sehweiten von		
	8 Zoll.	9 Zoll.	10 Zoll.
Zoll.	Zoll.	Zoll.	Zoll.
5.0	— 13.3	— 11.2	— 10.0
5.1	— 14.1	— 11.8	— 10.4
5.2	— 14.9	— 12.3	— 10.8
5.3	— 15.7	— 12.9	— 11.3
5.4	— 16.6	— 13.3	— 11.7
5.5	— 17.6	— 14.1	— 12.2
5.6	— 18.7	— 14.8	— 12.7
5.7	— 19.8	— 15.5	— 13.3
5.8	— 21.1	— 16.3	— 13.8
5.9	— 22.5	— 17.1	— 14.4
6.0	— 24.0	— 18.0	— 15.0
6.1	— 25.7	— 18.9	— 15.6
6.2	— 27.6	— 19.9	— 16.3
6.3	— 29.6	— 21.0	— 17.0
6.4	— 32.0	— 22.1	— 17.8
6.5	— 34.7	— 23.4	— 18.6
6.6	— 37.7	— 24.7	— 19.4
6.7	— 41.2	— 26.2	— 20.3
6.8	— 45.3	— 27.8	— 21.2
6.9	— 50.2	— 29.6	— 22.3
7.0	— 56.0	— 31.5	— 23.3
7.1	— 63.1	— 33.6	— 24.5
7.2	— 72.0	— 36.0	— 25.7
7.3	— 83.4	— 38.6	— 27.0
7.4	— 98.7	— 41.6	— 28.5

Abnorme Sehweite.	Brennweiten der Brillengläser für die normalen Sehweiten von		
	8 Zoll.	9 Zoll.	10 Zoll.
Zoll.	Zoll.	Zoll.	Zoll.
7.5	— 120.0	— 45.0	— 30.0
7.6	— 152.0	— 48.9	— 31.7
7.7	— 205.3	— 53.3	— 33.5
7.8	— 312.0	— 58.5	— 35.4
7.9	— 632.0	— 64.6	— 37.6
8.0	plan.	— 72.0	— 40.0
8.1	+ 648.0	— 81.0	— 42.6
8.2	+ 328.0	— 92.2	— 45.6
8.3	+ 221.3	— 106.7	— 48.8
8.4	+ 168.0	— 126.0	— 52.5
8.5	+ 136.0	— 153.0	— 56.7
8.6	+ 114.7	— 193.5	— 61.4
8.7	+ 99.4	— 261.0	— 66.9
8.8	+ 88.0	— 396.0	— 73.3
8.9	+ 79.1	— 801.0	— 80.9
9.0	+ 72.0	plan.	— 90.0
9.1	+ 66.2	+ 819.0	— 101.1
9.2	+ 61.3	+ 414.0	— 115.0
9.3	+ 57.1	+ 279.0	— 132.9
9.4	+ 53.7	+ 211.5	— 156.7
9.5	+ 50.7	+ 171.0	— 190.0
9.6	+ 48.0	+ 144.0	— 240.0
9.7	+ 45.6	+ 124.7	— 323.0
9.8	+ 43.6	+ 110.2	— 490.0
9.9	+ 41.7	+ 99.0	— 990.0

Abnorme Sehweite.	Brennweiten der Brillengläser für die normalen Sehweiten von		
	8 Zoll.	9 Zoll.	10 Zoll.
Zoll.	Zoll.	Zoll.	Zoll.
10.0	+ 40.0	+ 89.0	plan.
10.1	+ 38.5	+ 82.6	+1010.0
10.2	+ 37.1	+ 76.5	+ 510.0
10.3	+ 35.8	+ 71.3	+ 343.3
10.4	+ 34.7	+ 66.9	+ 260.0
10.5	+ 33.6	+ 63.0	+ 210.0
10.6	+ 32.6	+ 59.6	+ 176.7
10.7	+ 31.7	+ 56.6	+ 152.9
10.8	+ 30.9	+ 54.0	+ 135.0
10.9	+ 30.1	+ 51.6	+ 121.1
11.0	+ 29.3	+ 49.5	+ 110.0
11.1	+ 28.6	+ 47.6	+ 100.9
11.2	+ 28.0	+ 45.8	+ 93.3
11.3	+ 27.4	+ 44.2	+ 86.9
11.4	+ 26.8	+ 42.7	+ 81.4
11.5	+ 26.3	+ 41.4	+ 76.7
11.6	+ 25.8	+ 40.1	+ 72.5
11.7	+ 25.3	+ 39.0	+ 68.8
11.8	+ 24.8	+ 37.9	+ 65.6
11.9	+ 24.4	+ 36.9	+ 62.6
12	+ 24.0	+ 36.0	+ 60.0
$12\frac{1}{4}$	+ 23.1	+ 33.9	+ 54.4
$12\frac{1}{2}$	+ 22.2	+ 32.1	+ 50.0
$12\frac{3}{4}$	+ 21.5	+ 30.6	+ 46.4
13	+ 20.8	+ 29.2	+ 43.3

Abnorme Sehweite.	Brennweiten der Brillengläser für die normalen Sehweiten von		
	8 Zoll.	9 Zoll.	10 Zoll.
Zoll.	Zoll.	Zoll.	Zoll.
13¼	+ 20.2	+ 28.1	+ 40.8
13½	+ 19.6	+ 27.0	+ 38.6
13¾	+ 19.1	+ 26.0	+ 36.7
14	+ 18.7	+ 25.2	+ 35.0
14¼	+ 18.2	+ 24.4	+ 33.5
14½	+ 17.8	+ 23.7	+ 32.2
14¾	+ 17.5	+ 23.1	+ 31.0
15	+ 17.1	+ 22.5	+ 30.0
15½	+ 16.5	+ 21.5	+ 28.2
16	+ 16.0	+ 20.6	+ 26.7
16½	+ 15.5	+ 19.8	+ 25.5
17	+ 15.1	+ 19.1	+ 24.3
17½	+ 14.7	+ 18.5	+ 23.3
17	+ 14.4	+ 18.0	+ 22.5
19	+ 13.8	+ 17.1	+ 21.1
20	+ 13.3	+ 16.4	+ 20.0
21	+ 12.9	+ 15.7	+ 19.1
22	+ 12.6	+ 15.2	+ 18.3
23	+ 12.3	+ 14.8	+ 17.7
24	+ 12.0	+ 14.4	+ 17.1
25	+ 11.8	+ 14.1	+ 16.7
30	+ 10.9	+ 12.9	+ 15.0
35	+ 10.4	+ 12.1	+ 14.0
40	+ 10.0	+ 11.6	+ 13.3
45	+ 9.7	+ 11.2	+ 12.9
50	+ 9.5	+ 11.0	+ 12.5

Zusatz zu §. 173. Wollaston hat ein sehr einfaches, aber viel Genauigkeit leistendes Mittel angege-

ben, die Linsen eines Doppelobjectivs zu centriren, indem er die Bilder benutzt, welche von den verschiedenen Flächen hervorgebracht werden, wenn man eine Lampenflamme benutzt. Man nimmt nämlich das Ocular des Fernrohrs aus seiner Stelle und setzt eine Lampenflamme dahin, deren Licht man noch durch eine Platte verkleinern kann, die mit einem kreisrunden Loche versehen ist. Dann stellt man sich auf die andere Seite des Objectivs, in ungefähr 1 Fuß Entfernung von demselben, so erblickt man die genannten Bilder, von denen einige vor, andere hinter der wahren Flamme zu stehen scheinen. Die Anzahl der Bilder ist bei einem doppelten Objective 6, bei einem dreifachen 15. Wenn nun diese Bilder nicht alle in eine und dieselbe gerade Linie fallen, so ist das Objectiv nicht centrirt und es muß die eine oder die andere Linse noch gerückt werden, so lange, bis die erforderliche Eigenschaft hergestellt ist. Zu dem Ende hat man die Linsen des Objectivs in einer metallenen Fassung, welche mit zwei Schraubensystemen versehen ist, die unter rechten Winkeln gegen einander auf den Rand der Linsen wirken. Man bringt nun zuerst durch die entgegengesetzten horizontalen Schrauben alle Bilder in eine Vertikalebene und vollendet hernach die Centrirung durch die andern vertikalen Schrauben, indem man die bereits in einer Ebene stehenden Bilder auch in eine gerade Linie bringt. Man kann auch an die Stelle des Oculars eine Linse von sehr geringer Brennweite setzen und sie gegen die Sonne richten, wo dann in ihrem Brennpunkt ein sehr kleines Sonnenbild entsteht. Betrachtet man dieses dann durch das Objectiv, so gewahrt man die reflectirten Bilder nebst dem wahren Sonnenbild deutlich und kann nun die Adjustirung vornehmen.

Zusatz zu §. 228. Das Schleifen der Diamantlinsen geschieht eben so, wie das Schleifen an-

derer Diamanten, mit dem Pulver desselben Materials. Man gibt ihm zuerst nach Pritchard's Methode mittels eines andern Diamanten eine sphärische Form, dann macht man in eine kleine gegossene Docke, die $\frac{1}{5}$ Zoll Durchmesser hat und sich 6 mal in einer Secunde herumdreht, eine sphärische Vertiefung, welche die Schleifschale abgibt. Der Diamant wird mittels eines Kittes aus gleichen Theilen gutem Harz und Bimsstein, die man, ohne sie zu verbrennen, zusammengeschmolzen hat, auf ein kleines Stäbchen befestigt und mit der convexen Seite in die Vertiefung der Docke gebracht. Diese Vertiefung wird vorher mit Diamantstaub ausgepflastert, den man mittels eines starken stählernen Kneifs hineingebracht hat. Hat die Linse auf diese Weise eine sphärische Form erhalten, so beginnt das Feinschleifen und Poliren, indem man sich hierzu einer gleichen Schale, wie die vorige, bedient und Diamantstaub anwendet, welcher von der feinsten Sorte seyn und vorher sorgfältig mit Oel geschlemmt seyn muß.

Beim Verleger dieses sind erschienen und in allen Buchhandlungen zu haben:

H. v. Sternheim, populäre Gnomonik oder Construction der gebräuchlichsten Arten von Sonnenuhren mit Thierkreislinien und Beleuchtungsscalen. Mit 10 Figurentafeln. 8. 1½ Rthl. od. 2 fl. 42 kr. Gersdorf's Repert. 1835. 7s Heft sagt: „Wir erkennen diese Zusammenstellung der Sätze von Constructionen der Sonnenuhren für etwas Dankenswerthes und Nützliches. Die fein ausgeführten und durchaus rein gehaltenen Zeichnungen verdienen allen Beifall.“ Das preuß. Bürgerblatt 1836. Nr. 7 empfiehlt dieses Buch als ein für diesen Gegenstand sehr vollständiges, deutliches und belehrendes und sagt: „Wer nur im Stande ist, eine Figur auf eine Steinplatte, Kupfer- oder Messingtafel aufzutragen, wenn er solche auf dem Reißbrete entwerfen kann, der wird in keine Verlegenheit gerathen. Zehn Steindrucktafeln versinnlichen den Text und eine Menge anderer Tafeln sind zur Ersparung weitläuftiger Rechnungen angehängt.“

Gegenwärtige Schrift hat vor der verwandten von Littrow für Viele den großen Vorzug voraus, daß sie weder durch analytischen Calcül mathematische Kenntniß voraussetzt, noch roh praktisch ist, wie mehrere andere. Bei möglichst wissenschaftlicher Behandlung erfordert es nichts als den Gebrauch des Bleistifts, Zirkels und Transporteurs, um ohne alle Berechnung und nur durch einfache geometrische Constructionen auf das Kürzeste zu den genauesten und sichersten Resultaten zu führen. Dabei steht nichts ohne Erläuterung, nichts ohne den Beweis da. Alles ist durch die beigefügten Figurentafeln deutlich und anschaulich gemacht.

Berthoud, die Kunst, mit Pendel- und Taschenuhren umzugehen u. sie zu reguliren, nebst einem Anhang über die Regeln, Vergleichungen, Berechnungen u. s. w., welche man beim Gebrauche der astronomischen Uhren anzuwenden, und was man sonst dabei zu beobachten hat. Mit 5 Kupfertafeln. 8. ½ Rthl. oder 54 kr. (Günstig beurtheilt in der Leipz. Litztg. 1829. Nr. 5, desgl. in Beck's Repert. 1828. III. 2. Die Jen. Litztg. 1830. Nr. 59 sagt: „Wir beeilen uns, von dem Erscheinen dieser lehrreichen Schrift, deren Verfasser bereits als

gründlicher Mechanikus in und außer Frankreich bekannt ist, Anzeige zu machen. Auch die Uebersetzung liest sich sehr gut und ist höchst verständlich abgefaßt.")

Der Nutzen dieser Schrift für alle Uhrenbesitzer ist durch den Absatz von fünf Auflagen des Originals hinreichend anerkannt.

Dr. H. Leng, vollständiges Handbuch der Glasfabrikation nach allen ihren Haupt- u. Nebenzweigen, oder theoretisch-praktische Anleitung zur vollkommensten Darstellung aller möglichen Glasfabrikate, als des Wasser-, Hohl-, Tafel-, Spiegel-, Kron-, Flint-, Krystall- u. Milch- oder Brennglases, der farbigen und gemalten Gläser, der unächten Edelsteine od. Glasflüsse, des Emails, der Glasperlen, Glaskorallen, Glasknöpfe u. dergl. zum Verzieren der verschiedenen Glaswaaren durch Schleifen, Malen, Aetzen, Vergolden, Platiniren, Incrustiren u. s. w. und zur Glasbläserkunst an der Lampe, nebst den erforderlichen Notizen über die Einrichtung der sämmtlichen Oefen, die Fertigung der Schmelzhäfen, die Auswahl und Vorbereitung der Materialien. Nach den besten in- und ausländischen Werken bearbeitet. Mit 33 lithographirten Tafeln. 8. 2⅔ Rthl. oder 4 fl. 48 kr. Die Handlungszeitung 1835. Nr. 41 sagt: „Dieses Buch ist als das neueste und vollständigste allerdings sehr empfehlenswerth." v. Gersdorf's Repert. 1835. VI. 3 sagt: „Der Verfasser benutzte bei Ausarbeitung dieses Werks, in dem sich seine klare und ruhige Darstellungsgabe aufs Neue bewährt, nicht nur die über den Gegenstand selbst vorhandenen besten Lehrbücher des In- und Auslandes, sondern auch die verschiedenen so benannten Artikel der Encyclopädien und die hierher gehörigen Aufsätze der besten Journale."

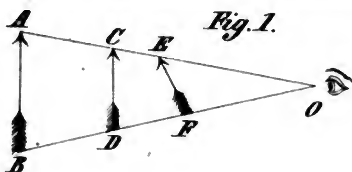


Fig. 1.

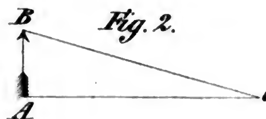


Fig. 2.

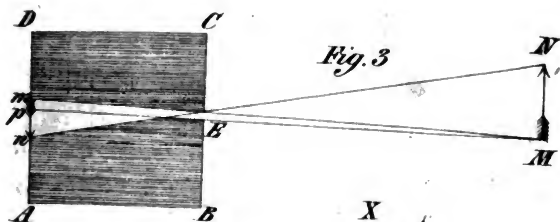


Fig. 3

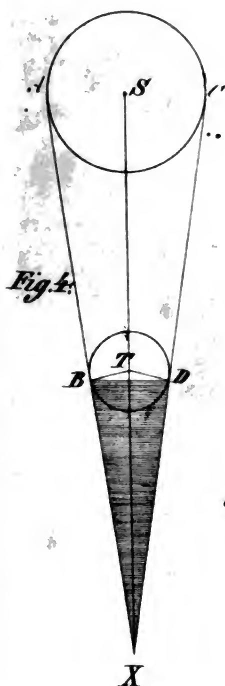


Fig. 4.

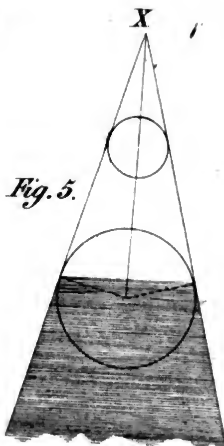


Fig. 5.

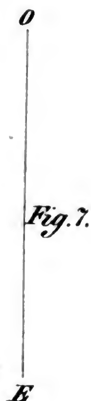
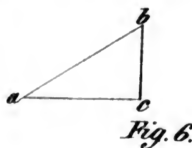


Fig. 7.



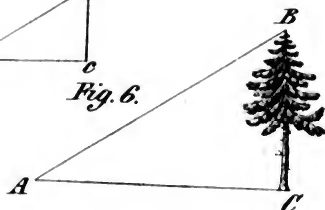


Fig. 6.

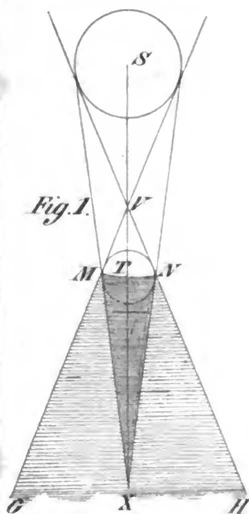


Fig. 1.

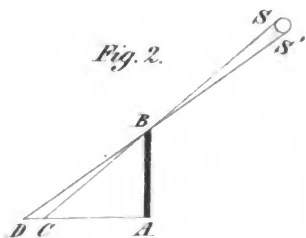


Fig. 2.

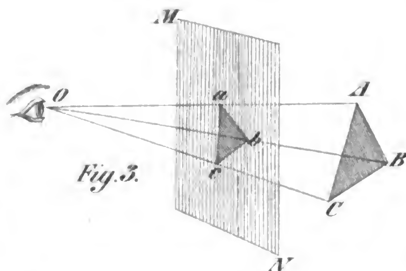


Fig. 3.

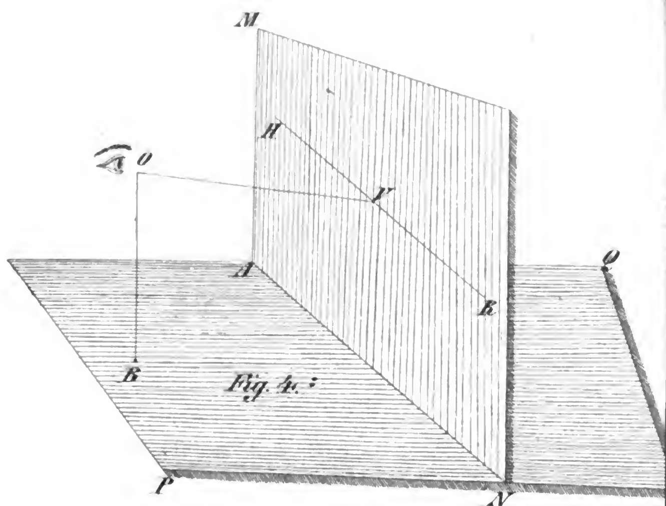
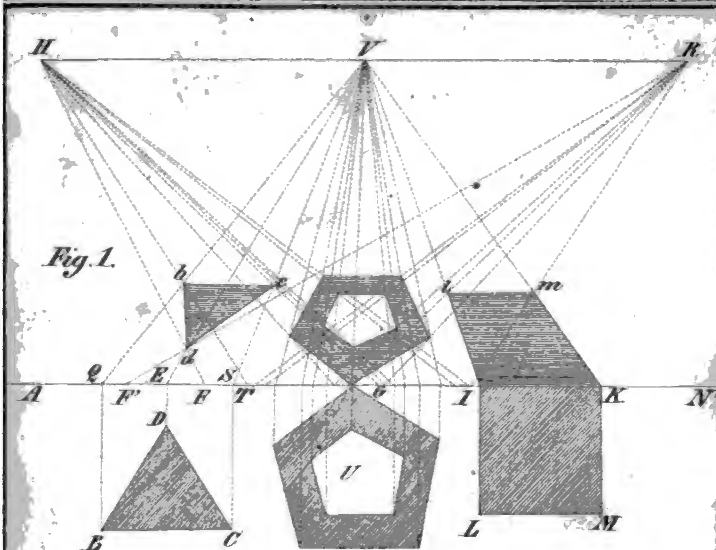
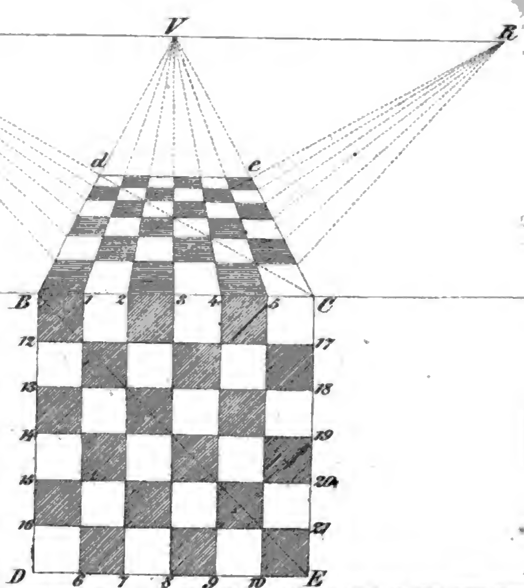
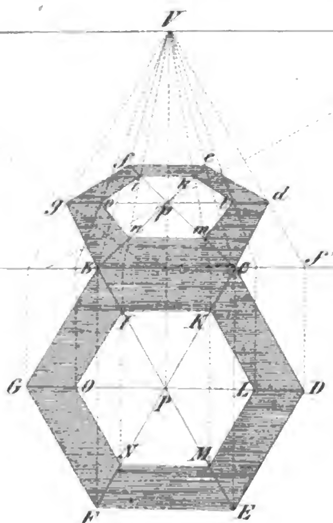
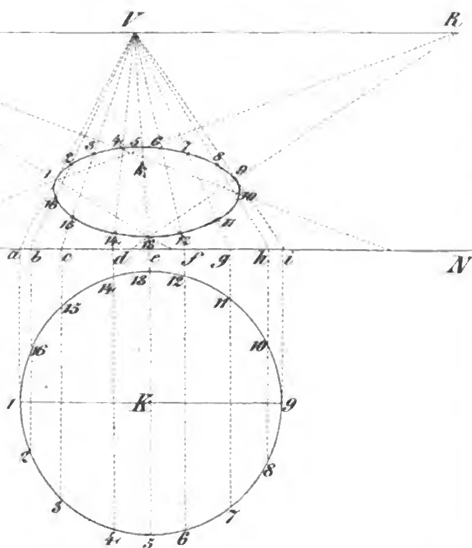


Fig. 4.


H
V
R
Fig. 1.
b
c
l
m
d
Q
E
S
A
F'
F
T
G
I
K
N
D
U
B
C
L
M


H
V
R
d
e
B
1
2
3
4
5
C
12
17
13
18
Fig. 2.
14
19
15
20
16
21
D
6
7
8
9
10
E


H
V
R
f
e
g
d
A
N
I
K
Fig. 1.
G
O
P
L
D
N
M
F
E


H
V
R
A
N
a b c d e f g h i
Fig. 2.
K
1
9

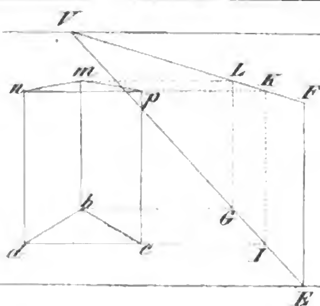


Fig. 1.

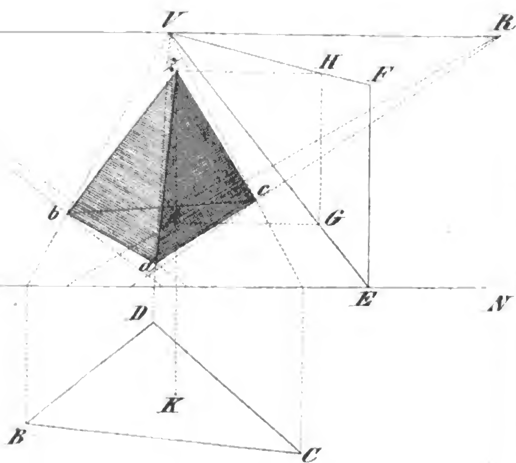
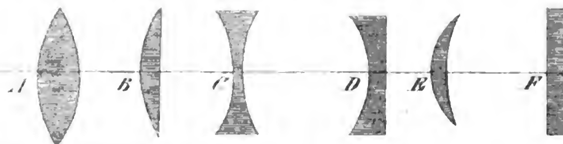
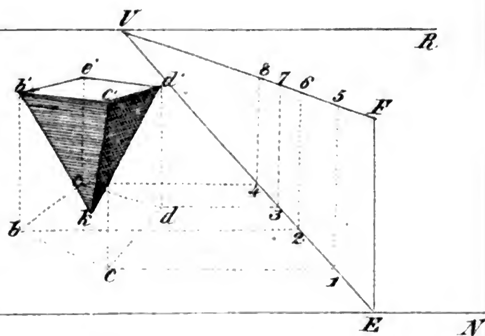
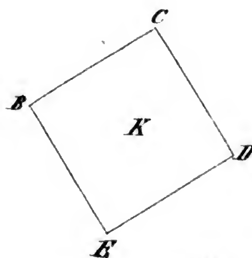


Fig. 2.

Fig. 3.







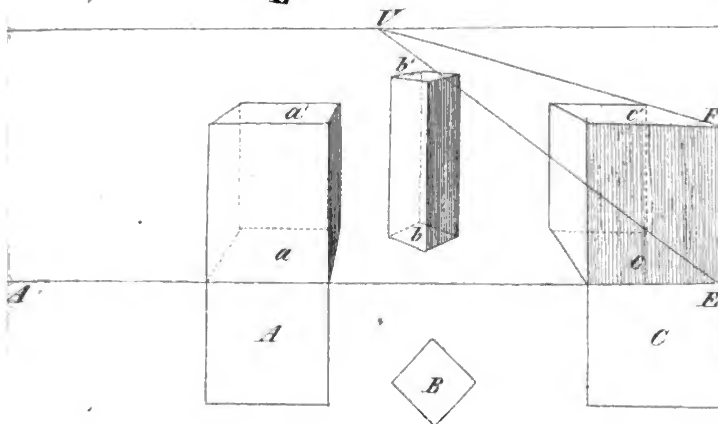


Fig. 2.

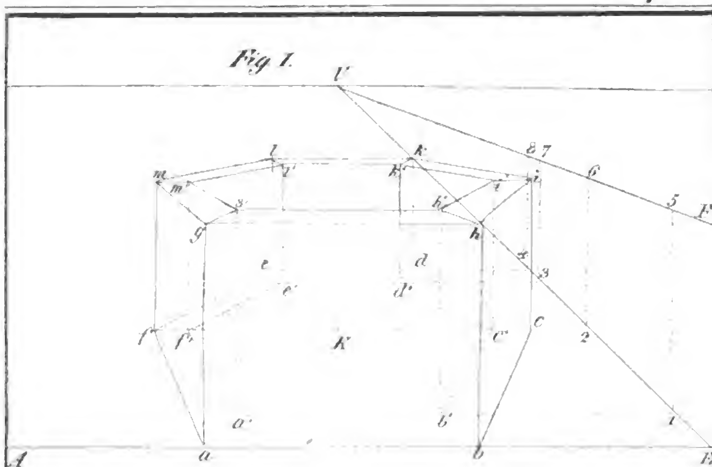
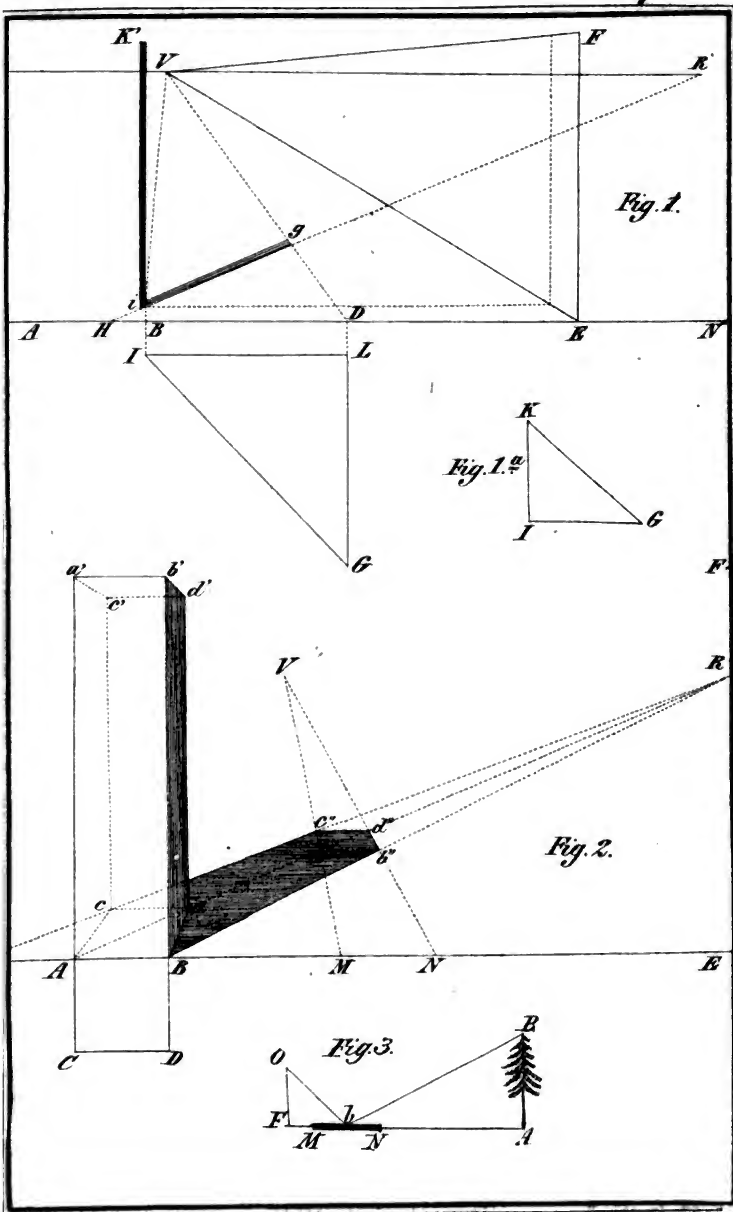


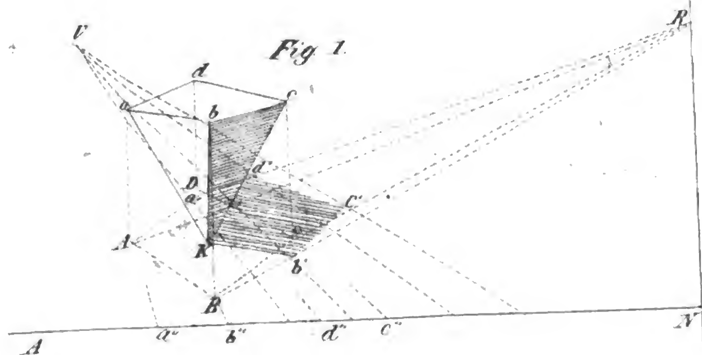
Fig. 1.

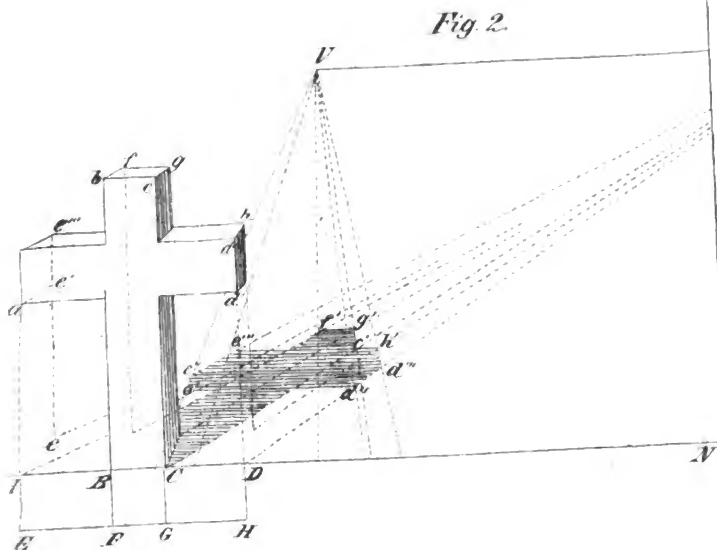
Fig. 2.

U

Taf. VIII.


K'
V
F
R'
Fig. 1.
g
i
D
A
H
B
E
N
I
L
K
Fig. 1.a
G
I
G
a'
b'
d'
c'
F'
V
R
c''
d''
b''
Fig. 2.
c
A
B
M
N
E
C
D
Fig. 3.
O
B
F
b
M
N
A


Fig. 1.
V
d
a
b
c
R
d'
D
a'
C'
A
K
b'
B
A
a"
b"
d"
c"
N


Fig. 2.
V
b
f
g
c
h
d
e'
a
d'
f'
g'
c'
h'
d'"
e
I
B
C
D
N
E
F
G
H

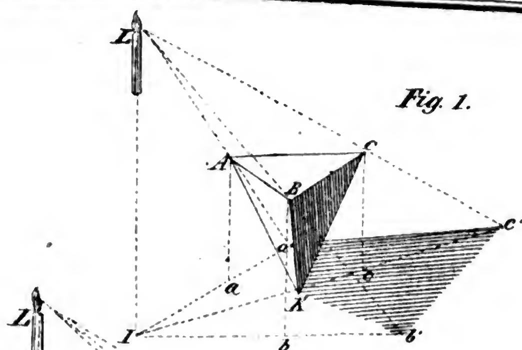


Fig. 1.

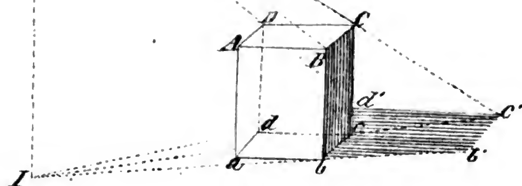


Fig. 2.

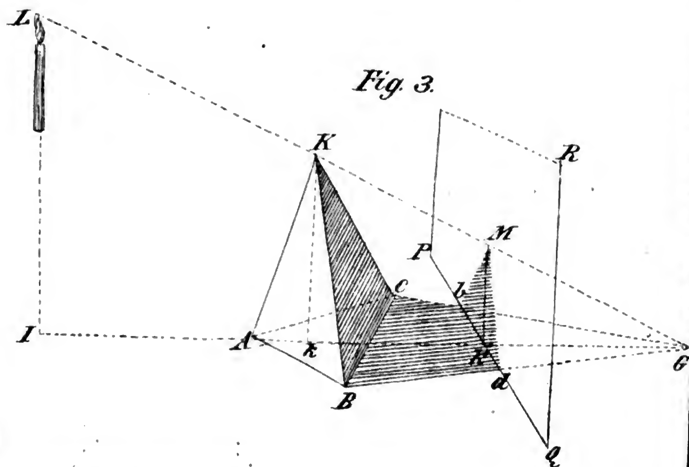
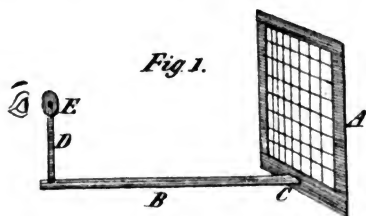
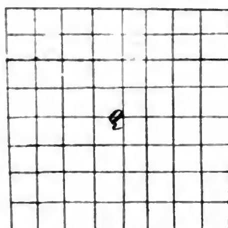
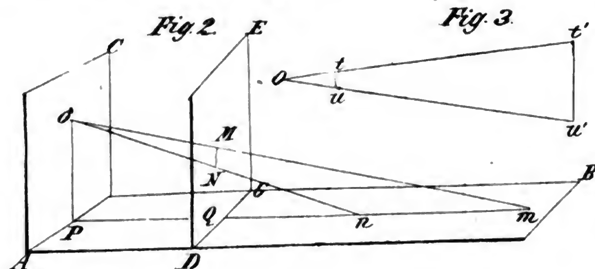
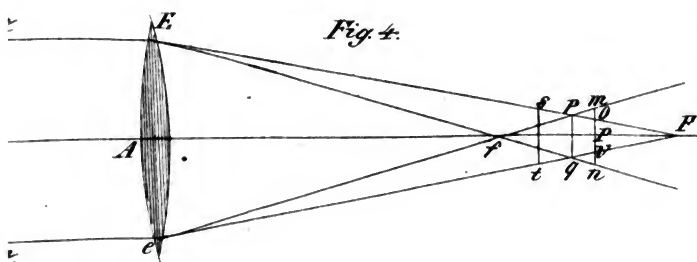


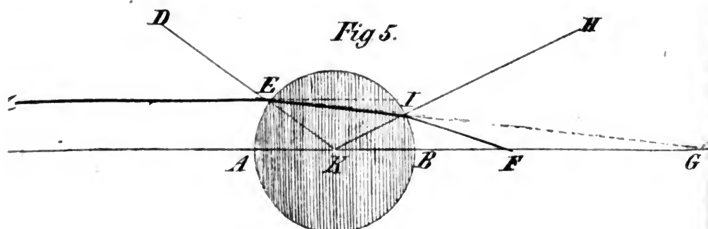
Fig. 3.


Fig. 1.
E
D
A
B
C


Q


Fig. 2.
Fig. 3.
C
E
o
M
N
Q
P
A
D
n
m
B
t
u
t'
u'


Fig. 4.
E
A
e
f
t
q
n
F


Fig. 5.
D
H
E
I
A
K
B
F
G

z a b c e m f g h i w

n

o

p

q

r

s

t

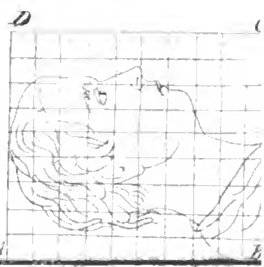
u

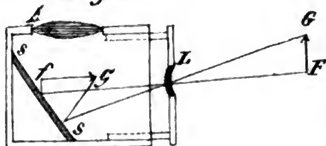
A Q B

Fig. 2.

y P d

Fig. 1.




Fig. 1.
G
F
L
s
f
g
s

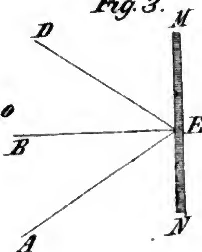
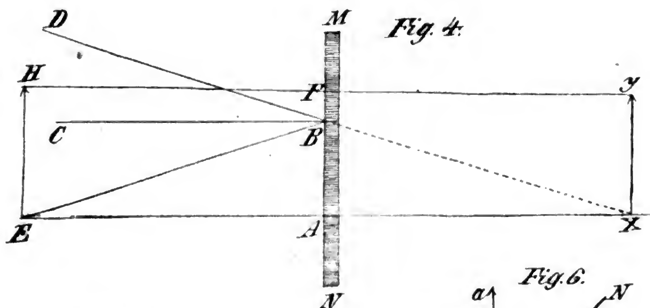
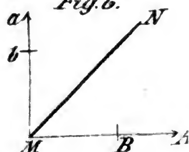
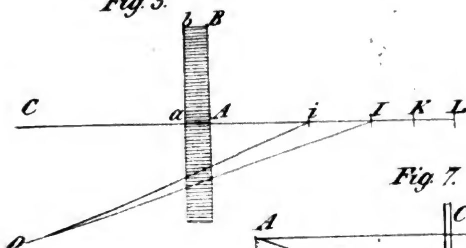
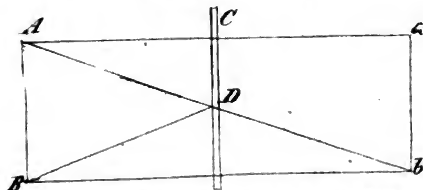

Fig. 3.
M
D
E
B
A
N

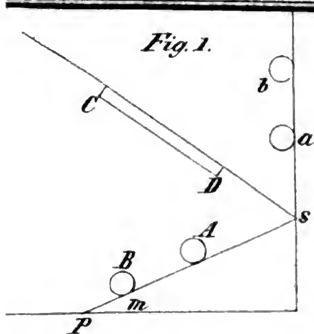

Fig. 2.
o
k
h
g
f
e
d
c
b
a
C
i
A
B

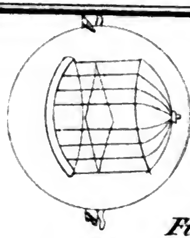

D
M
Fig. 4.
H
F
y
C
B
E
A
X
N

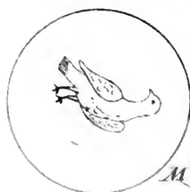

Fig. 6.
a
N
b
M
B

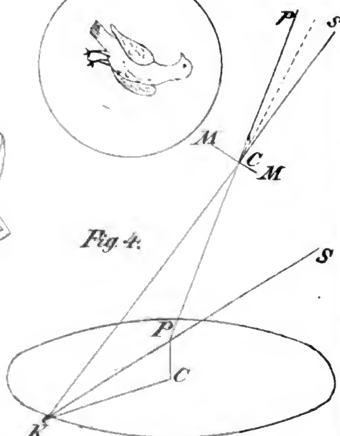

Fig. 5.
b
B
C
a
A
i
I
K
L
O

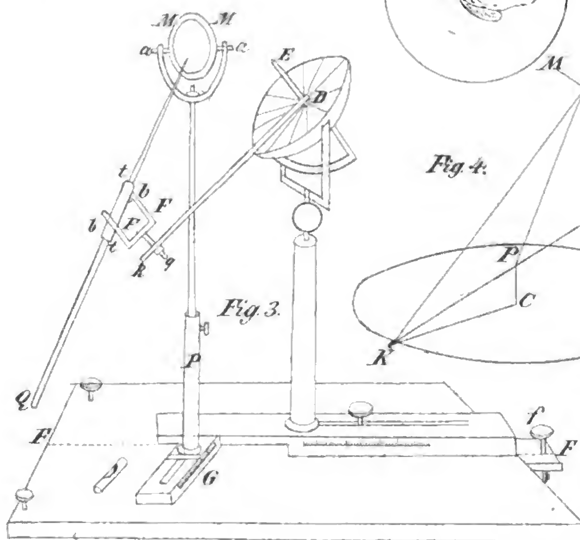

Fig. 7.
A
C
D
B
b

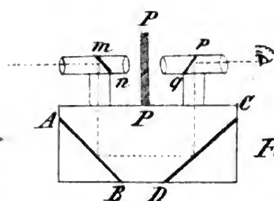

Fig. 1.
C
b
a
D
s
A
B
m
P

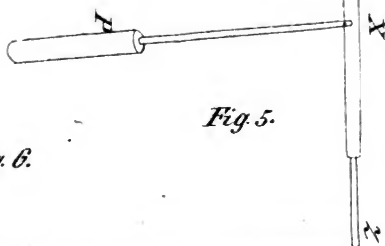

Fig 2.

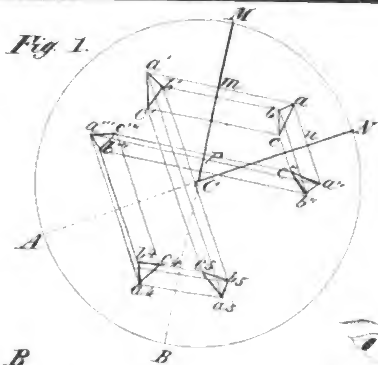


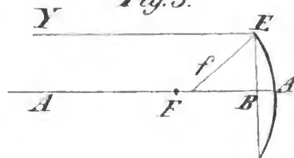

P
S
M
C
M
Fig. 4.
S
P
C
K

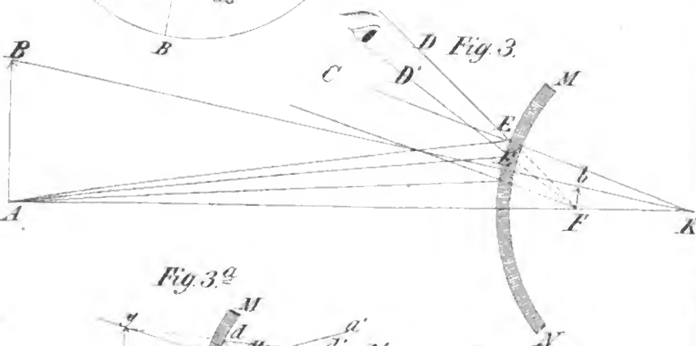

M
M
a
c
E
D
t
b
F
b
F
t
k
q
Fig. 3.
P
Q
F
f
F
G

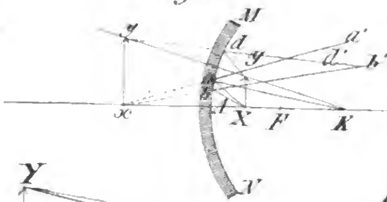

P
m
p
n
q
A
P
C
Fig. 6.
B
D

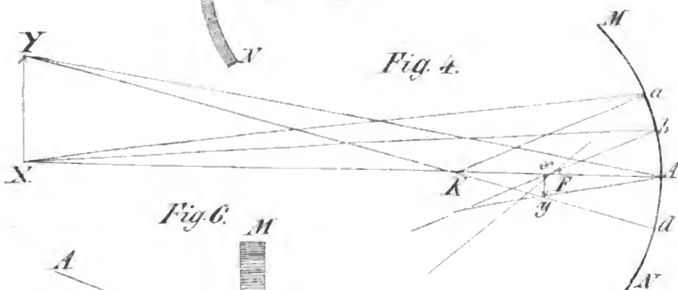

Y
p
X
Fig. 5.

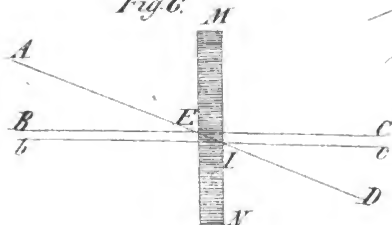

Fig. 1.
M
m
N
A
B
C

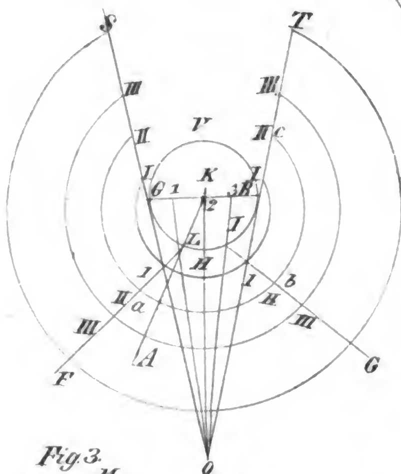

Fig. 5.
Y
E
f
A
F
B
A

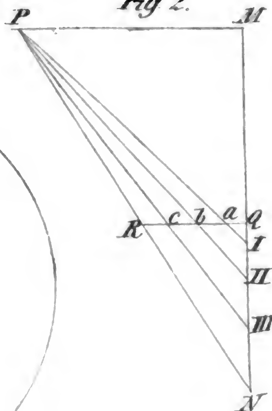

Fig. 3.
B
C
D
D'
M
E
b
A
F
K
N

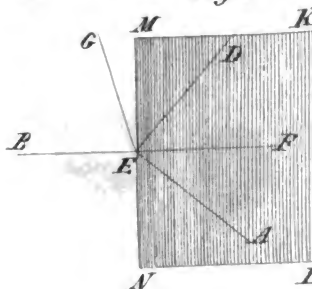

Fig. 3.a
M
d
X
F
K
N

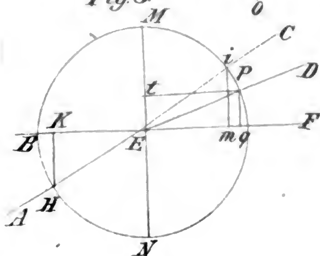

Fig. 4.
Y
X
M
a
b
K
F
A
y
d
N

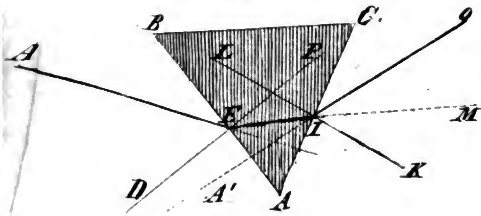

Fig. 6.
M
A
B
E
C
b
c
I
D
N


Fig. 1.
S
T
III
II
I
V
K
G
1
2
3
R
L
H
A
F
a
b
c
O


Fig. 2.
P
M
R
c
b
a
Q
I
II
III
N


Fig. 4.
M
K
G
D
B
E
F
A
N


Fig. 3.
M
C
i
P
D
t
K
F
B
E
m
q
H
A
N


Fig. 5.
B
C.
A
L
P
g
E
I
M
K
D
A'
A

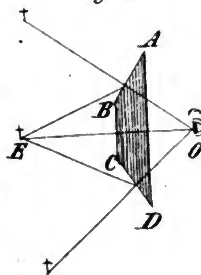
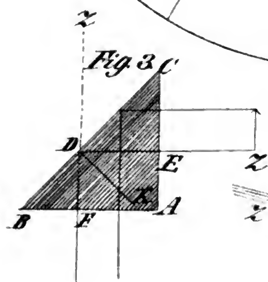
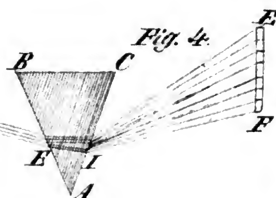

Fig. 6.
A
B
E
C
O
D

Fig. 1.


Fig. 3.
z
C
D
E
Z
B
K
A
B
F


Fig. 4.
E
B
C
z
E
I
F
A

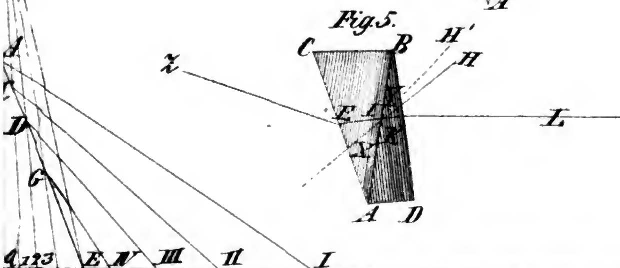

Fig. 5.
C
B
H'
H
z
E
L
X
Y
A
D
G
a 1 2 3
E
IV
III
II
I

Fig. 1

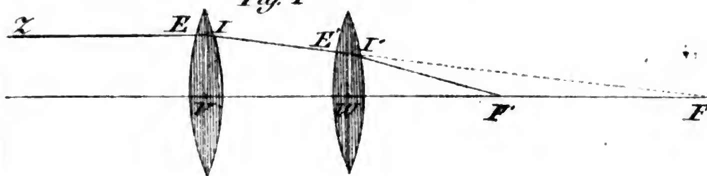


Fig. 2.

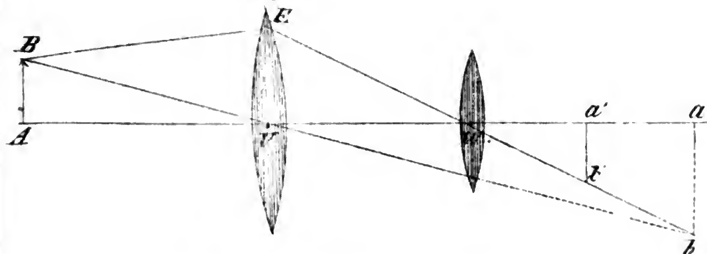


Fig. 3.

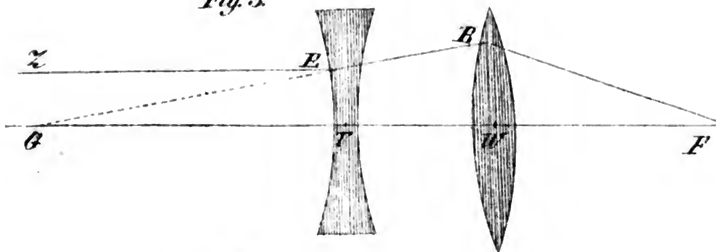
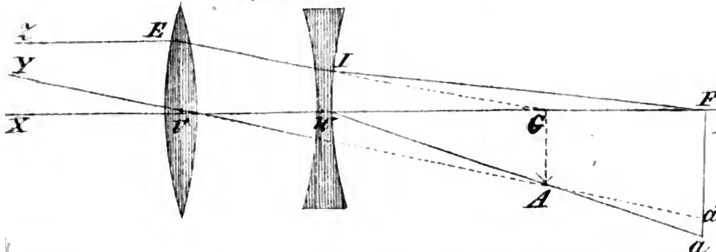
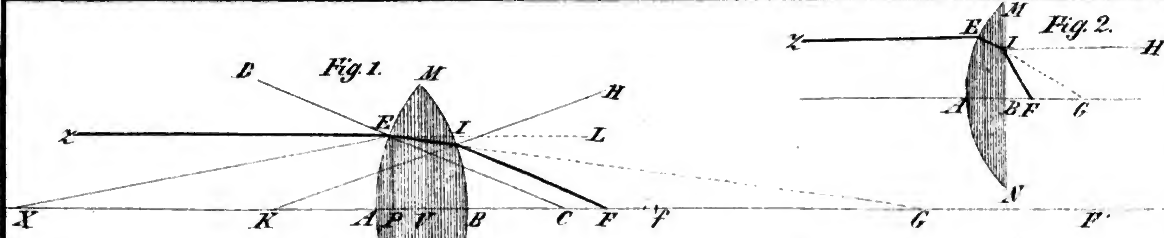
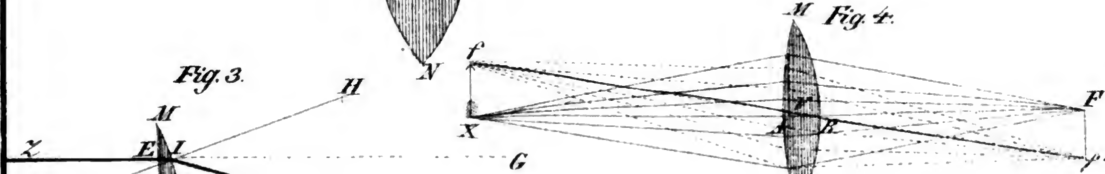
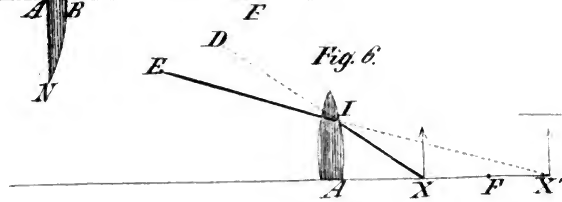


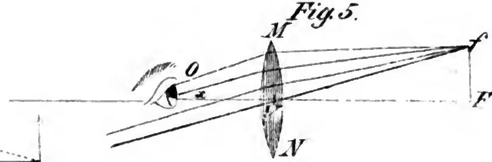
Fig. 4.

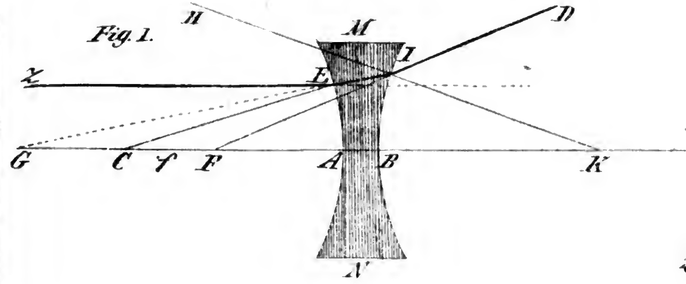



Fig. 1.
Fig. 2.


Fig. 3.
Fig. 4.


Fig. 6.


Fig. 5.


Fig. 1.
H
M
D
I
Z
E
G
C
f
F
A
B
K

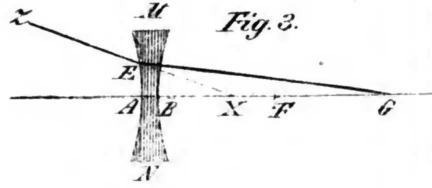
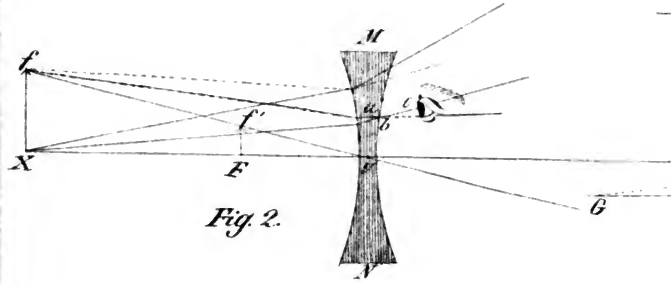
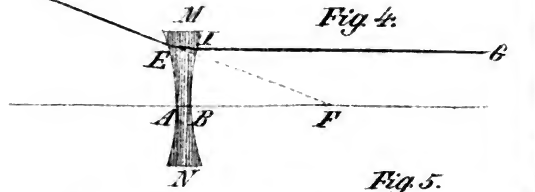
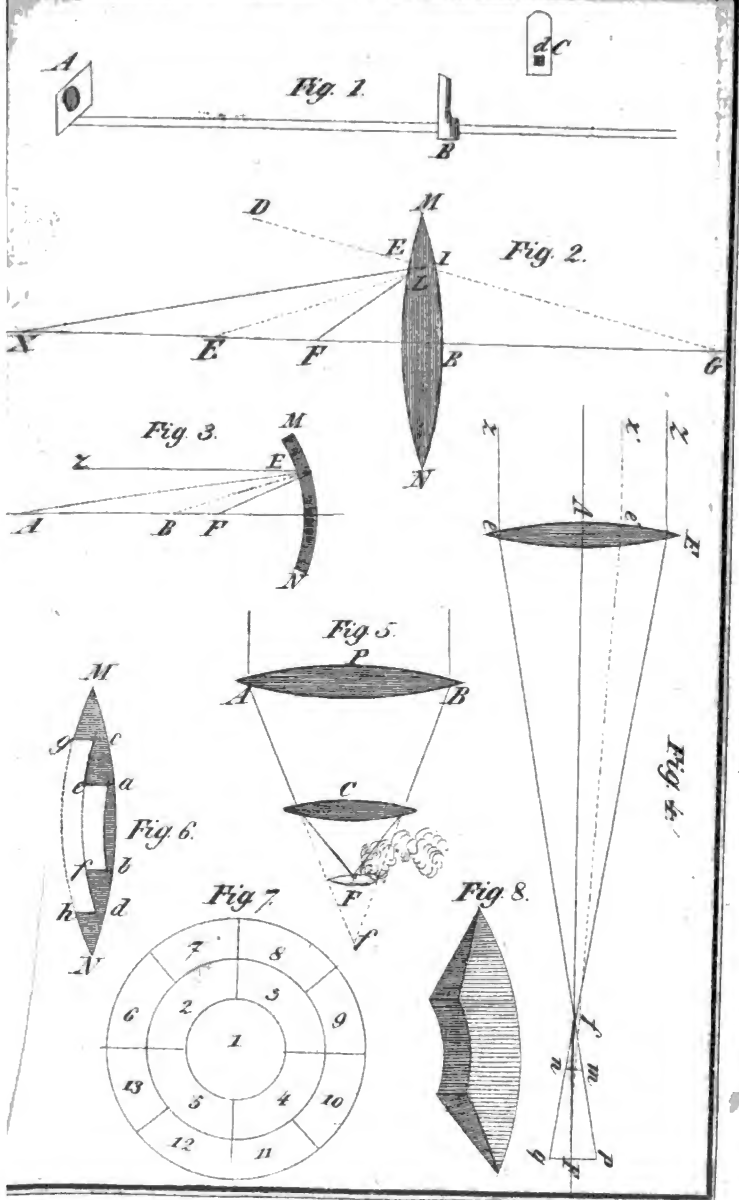
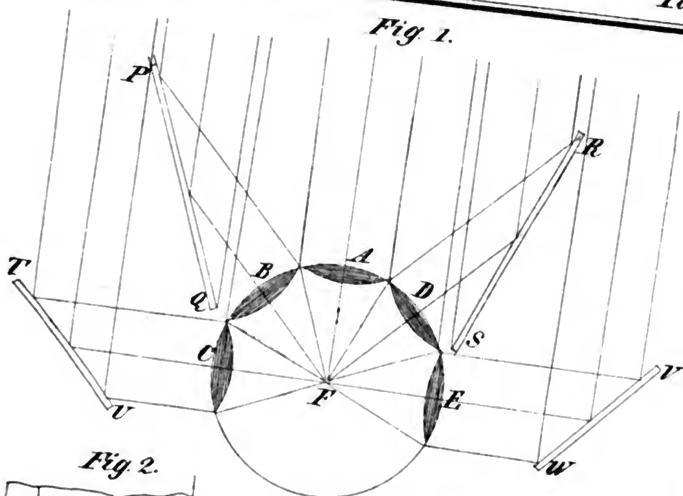

Fig. 3.
Z
M
E
A
B
X
F
G

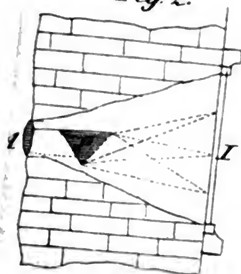

Fig. 4.
Z
M
I
E
G
A
B
F
N

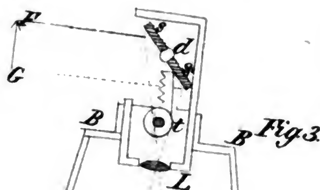

Fig. 2.
M
f
f'
X
F
G
N

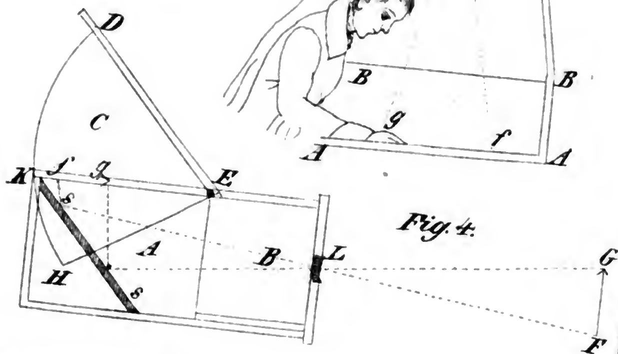

Fig. 5.
Z
E
M
I
D
G
A
B
F
X
N

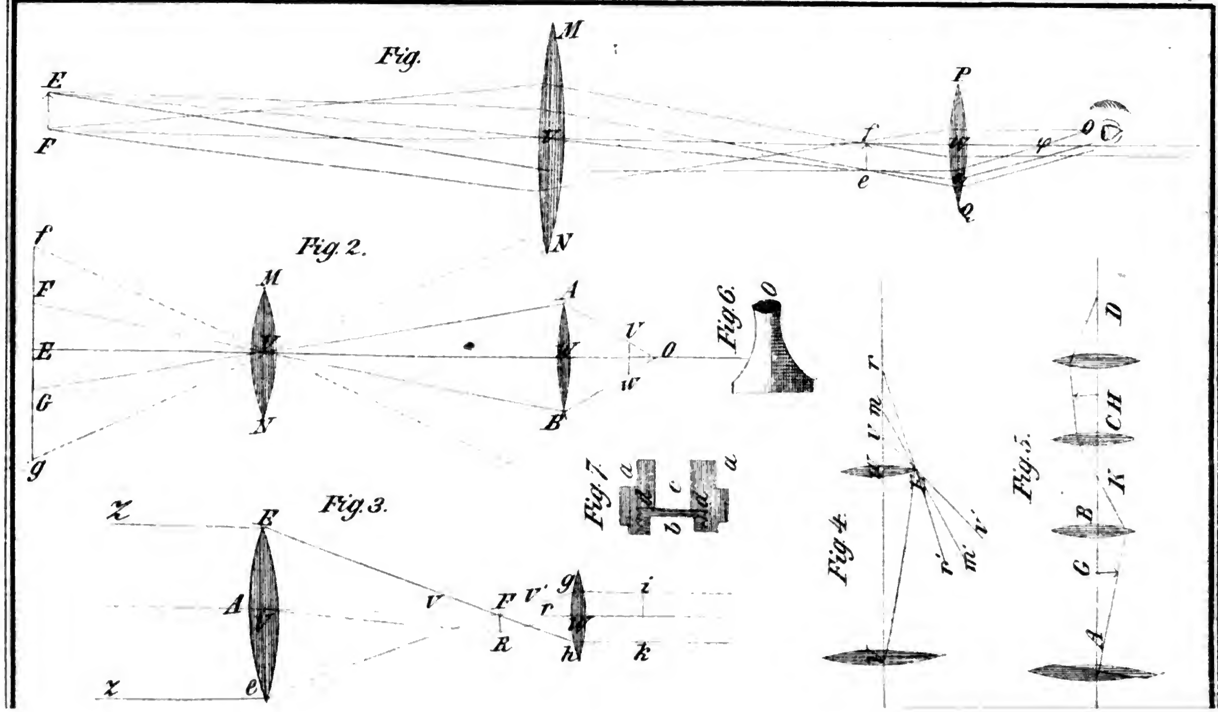

Fig. 1.
Fig. 2.
Fig. 3.
Fig. 4.
Fig. 5.
Fig. 6.
Fig. 7.
Fig. 8.

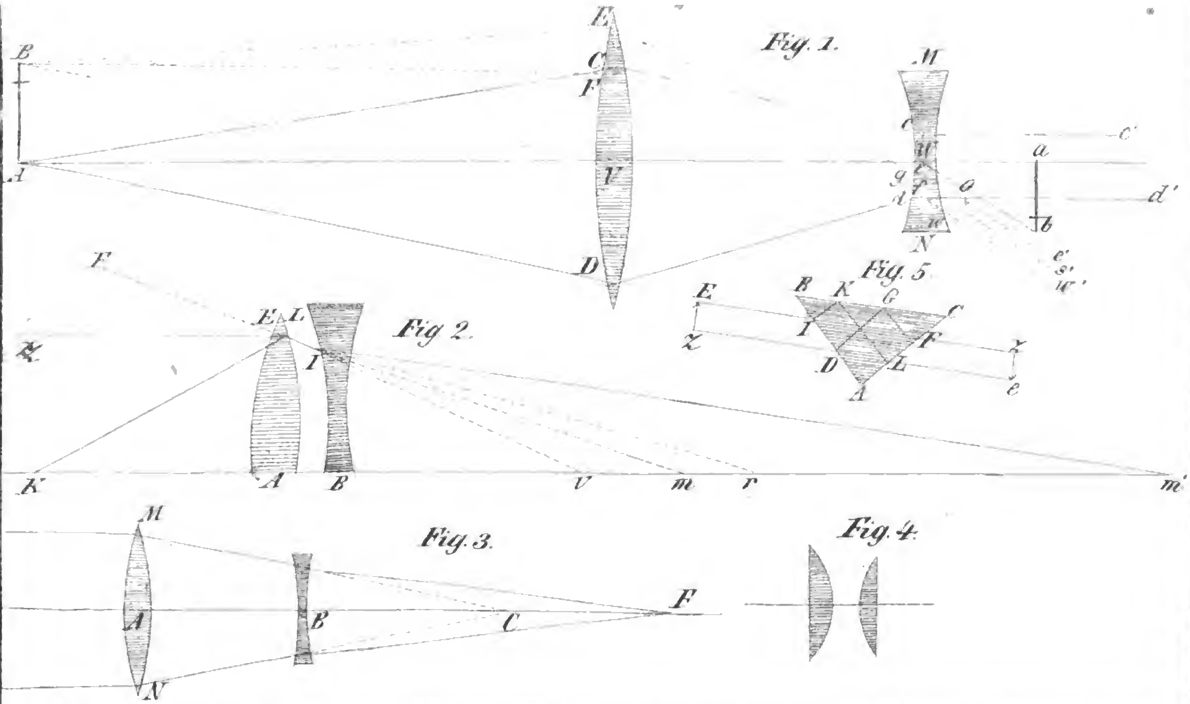

Fig. 1.
P
Q
R
S
T
V
W
A
B
C
D
E
F


Fig. 2.
I

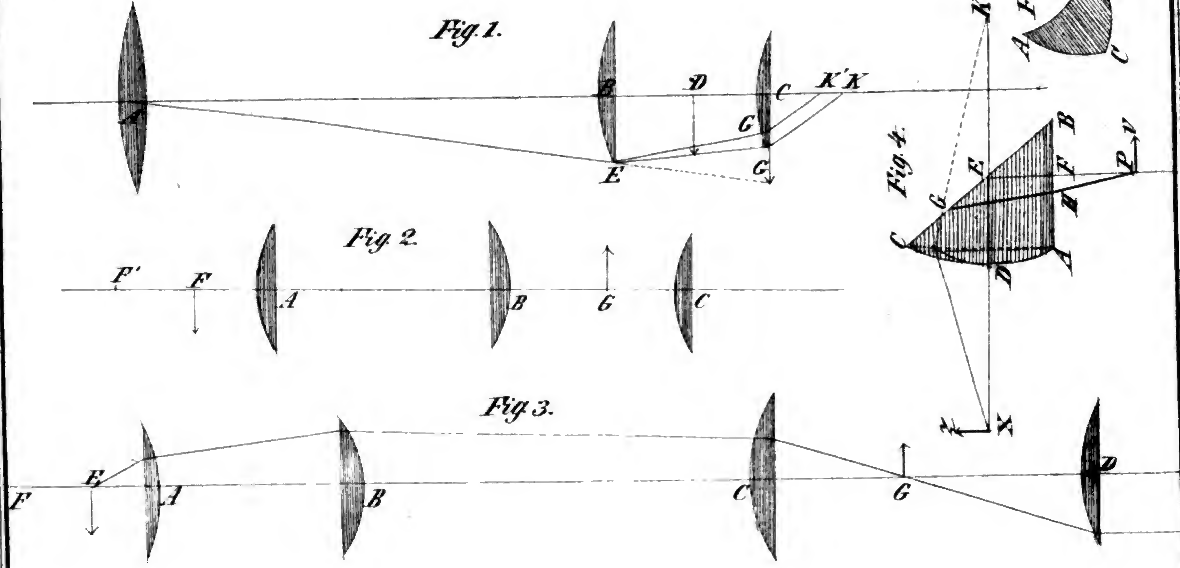

Fig. 3.
F
G
d
t
B
B
L

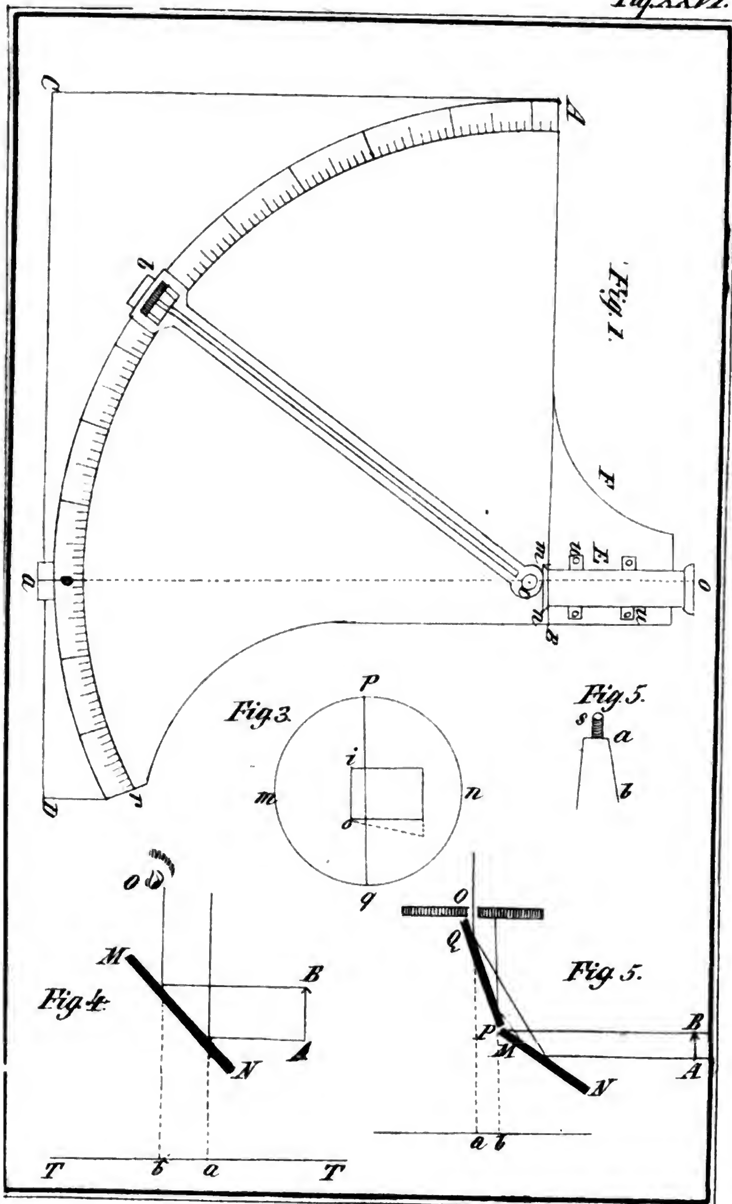

D
C
K
E
A
B
H
L
G
F
Fig. 4.
B
B
g
f
A
A


Fig.
Fig. 2.
Fig. 3.
Fig. 4.
Fig. 5.
Fig. 6.
Fig. 7.



Taf. XXIV.


Fig. 1.
Fig. 2.
Fig. 3.
Fig. 4.
Fig. 5.


Fig. 1.
Fig. 3.
Fig. 4.
Fig. 5.
Fig. 5.

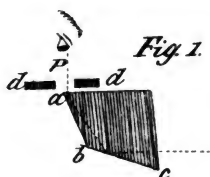


Fig. 1.

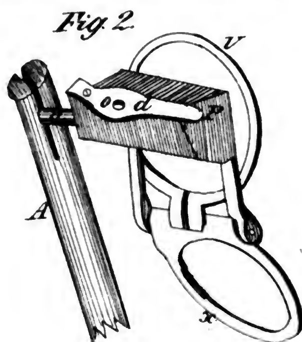


Fig. 2.

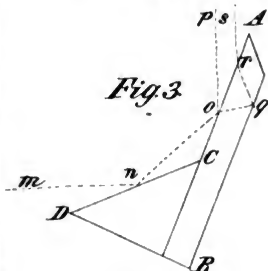


Fig. 3.

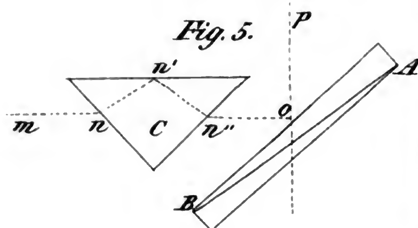


Fig. 5.

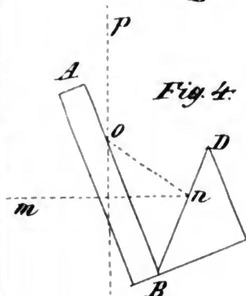


Fig. 4.

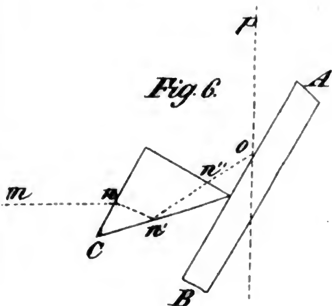
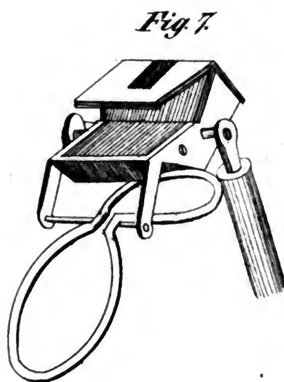
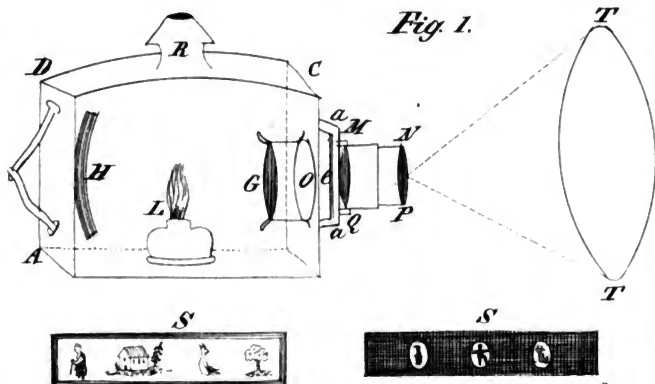
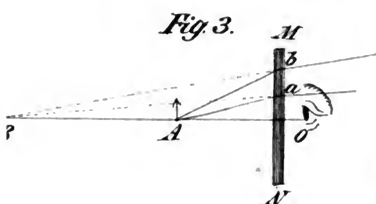
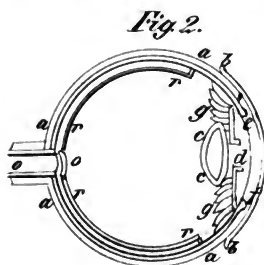


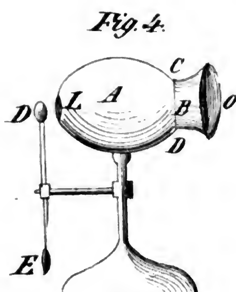
Fig. 6.

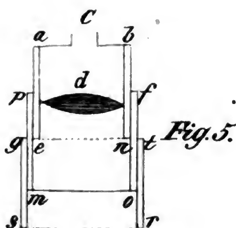

Fig. 7.

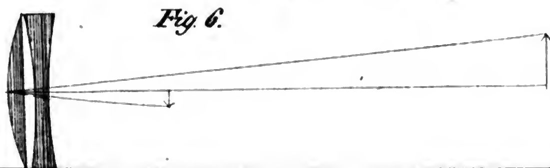

Fig. 1.
R
D
C
H
L
G
O
a
M
N
P
A
T
T
S
S

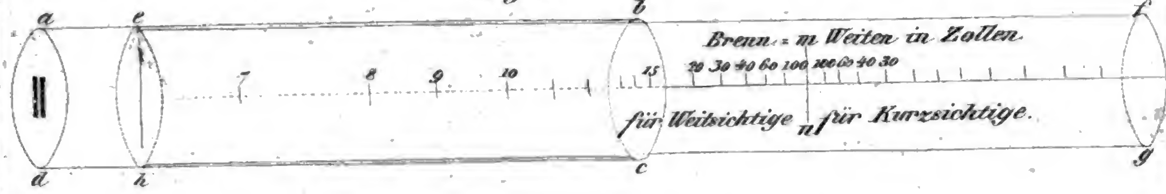

Fig. 3.
M
b
a
A
O
N

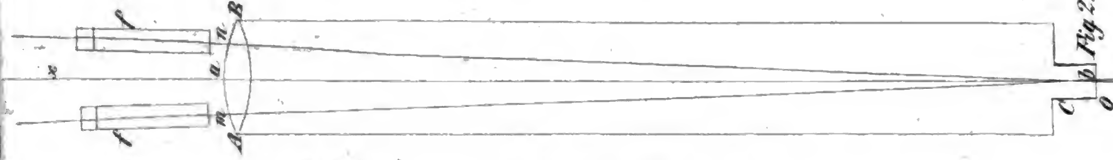

Fig. 2.
a
b
r
g
c
d
o

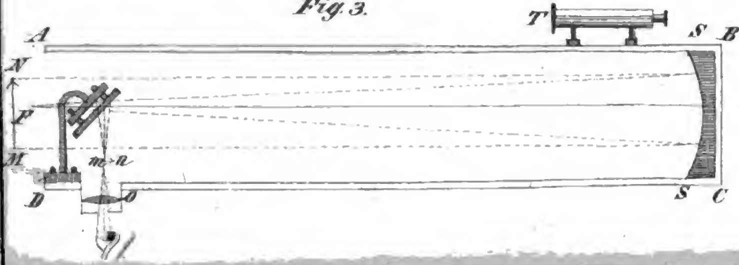

Fig. 4.
C
L
A
B
O
D
D
E

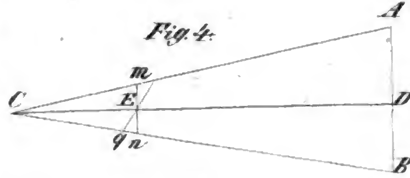

C
a
b
d
p
f
g
e
n
t
Fig. 5.
m
o
s
r


Fig. 6.

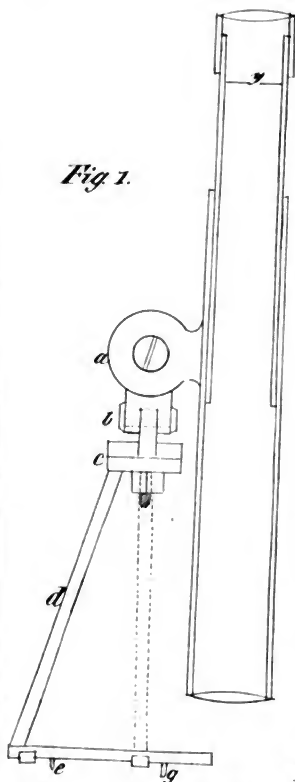

Fig. 1.
a
b
c
d
e
f
g
h
7
8
9
10
15
Brenn = m Weiten in Zollen
20 30 40 60 100 100 60 40 30
für Weitsichtige n für Kurzsichtige.

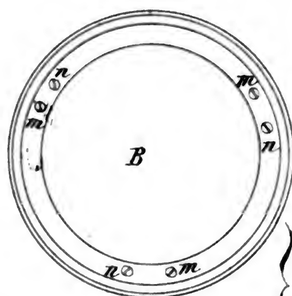

Fig. 2.
x
f
f
A
B
m
a
n
C
b
o

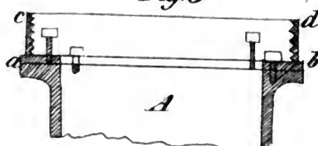

Fig. 3.
A
B
C
D
N
P
M
m n
o
S
S
T

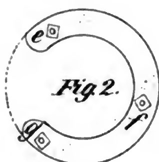

Fig. 4.
A
B
C
D
E
m
q n

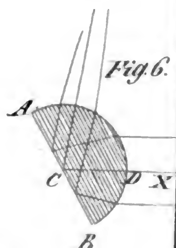
Taf. XXX.

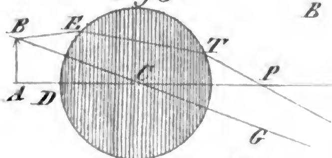

Fig. 1.
y
a
b
c
d
e
g

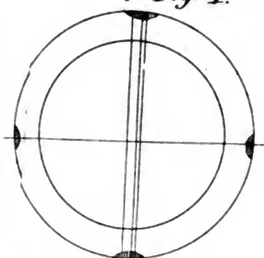

n
m
m
n
B
n
m

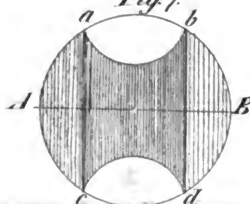

Fig. 3.
c
d
a
b
A


e
Fig. 2.
f
g


Fig. 6.
A
C
D
X
B


Fig. 5.
B
E
T
C
P
A
D
G


Fig. 4.


Fig. 7.
a
b
A
B
c
d

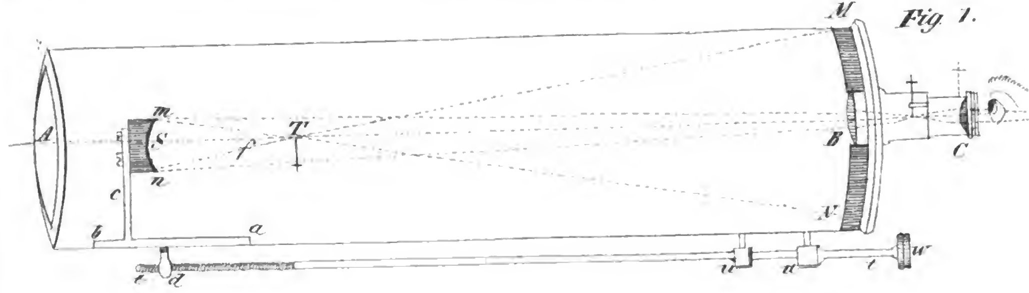


Fig. 1.

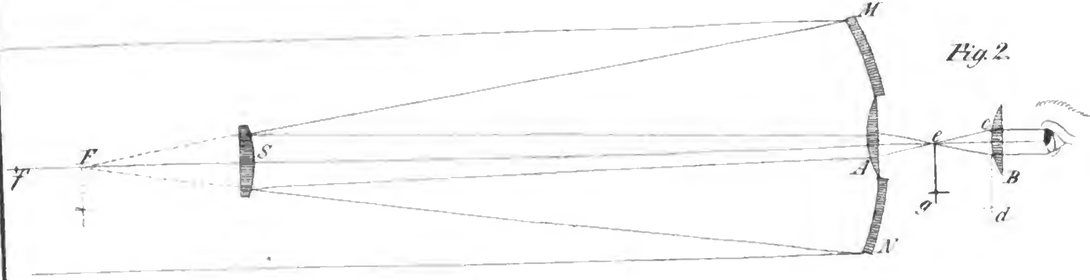
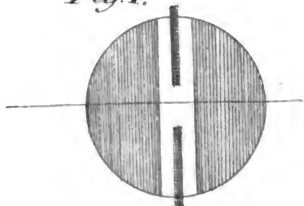
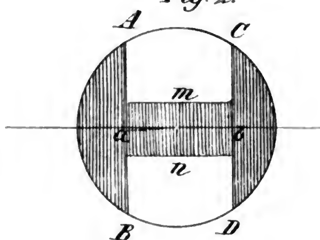


Fig. 2.


Fig. 1.


Fig. 2.
A
C
m
a
b
n
B
D

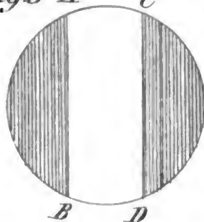

Fig. 3
A
C
B
D


Fig. 7.

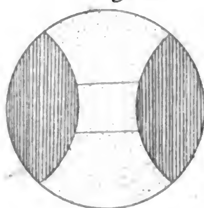
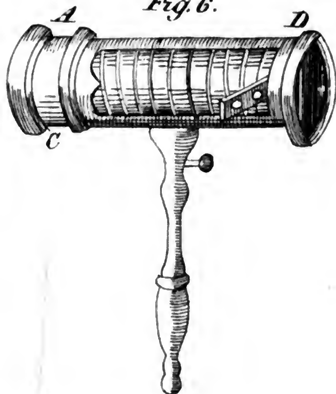
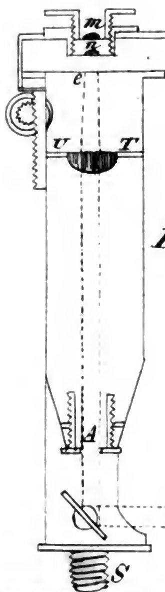

Fig. 4.


Fig. 5.


Fig. 6.
A
D
C


m
n
e
V
T
Fig. 8.
A
R
S

Taf. XXXIII.

Fig. 1.



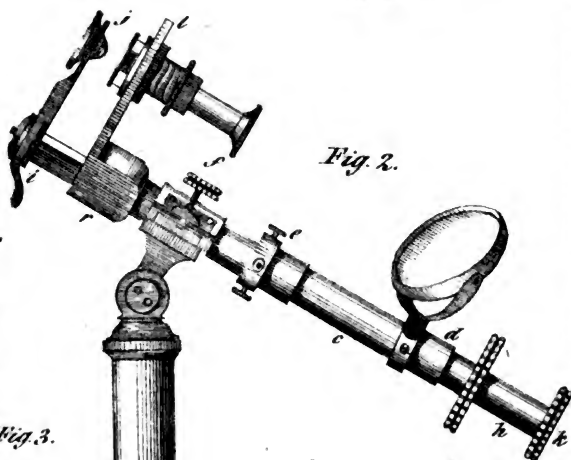


Fig. 2.

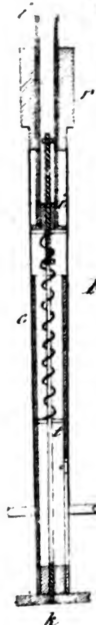
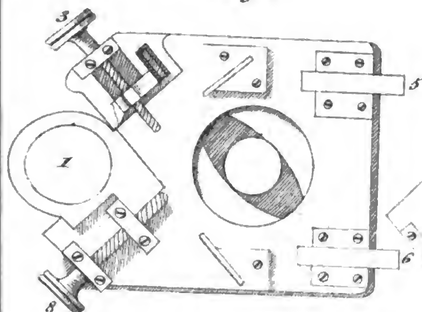
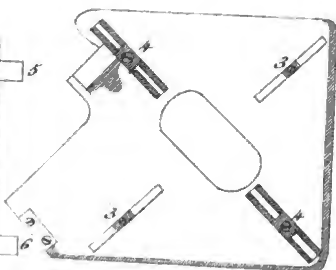
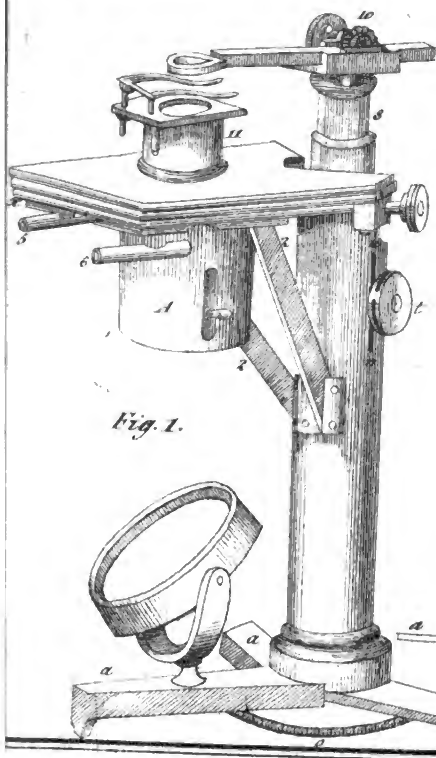
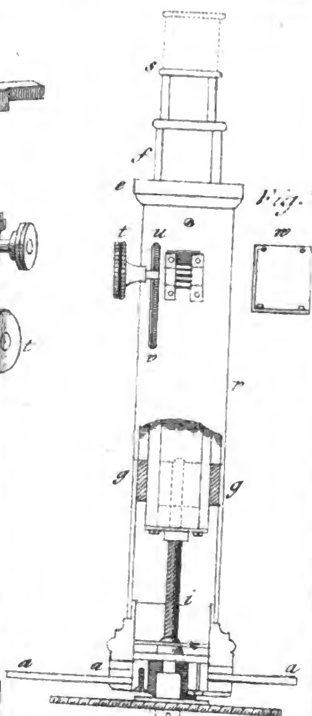


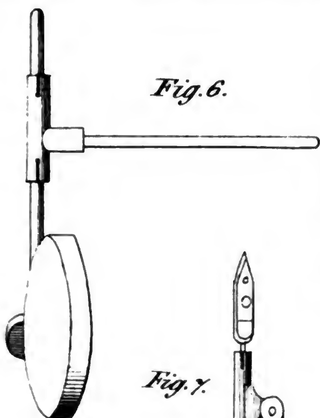
Fig. 3.


Fig. 3.
3
1
5
6
8


Fig. 4.
4
3
3
4


10
8
11
5
6
A
t
7
Fig. 1.
a
a
a
e


s
f
e
Fig. 2.
t
u
w
v
r
g
g
i
a
a
a


Fig. 6.

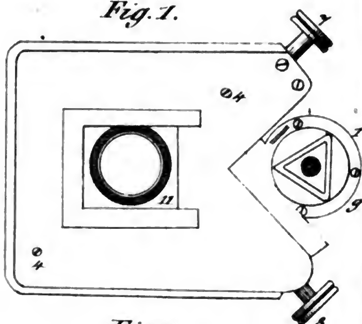
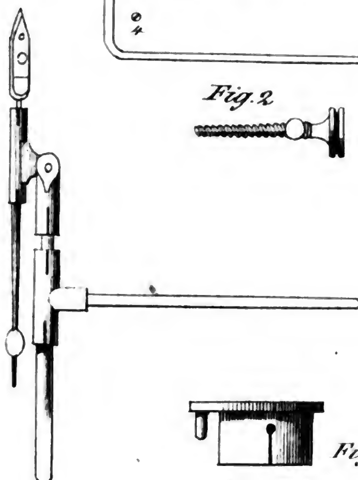
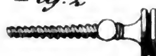


Fig. 1.


Fig. 7.


Fig. 2.

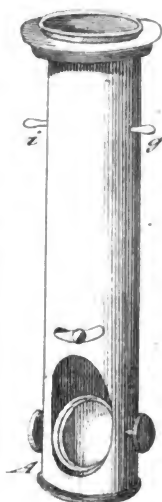
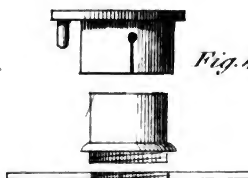
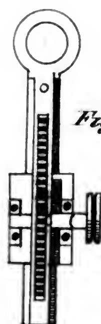
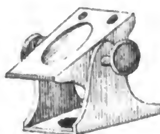
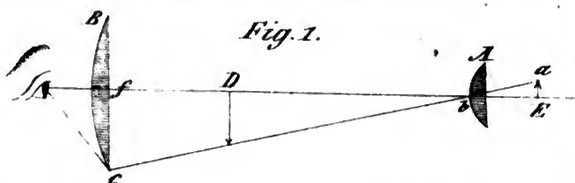


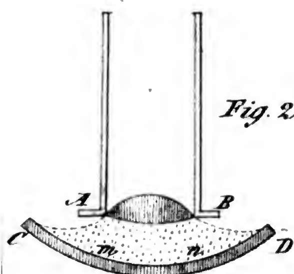
Fig. 8.

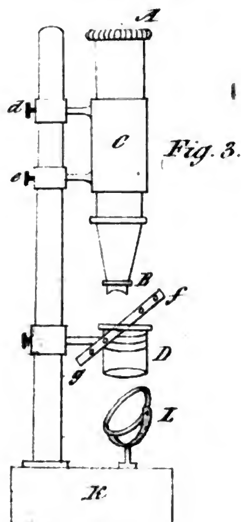

Fig. 4.

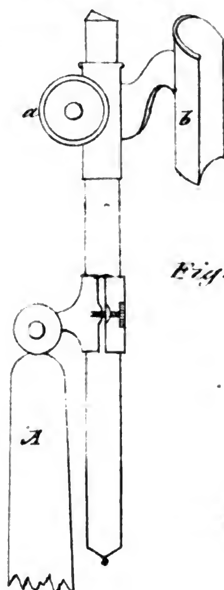

Fig. 3.

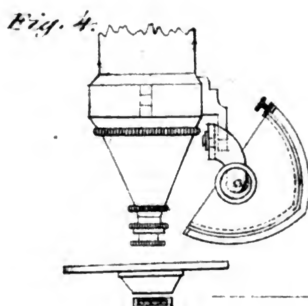

Fig. 5.

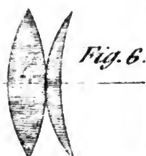

Fig. 1.
B
f
D
A
a
b
E
c

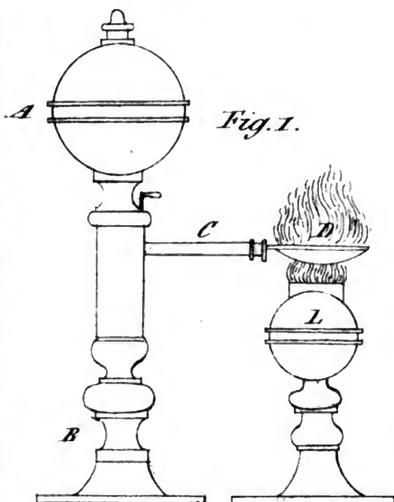

Fig. 2.
A
B
C
m
n
D

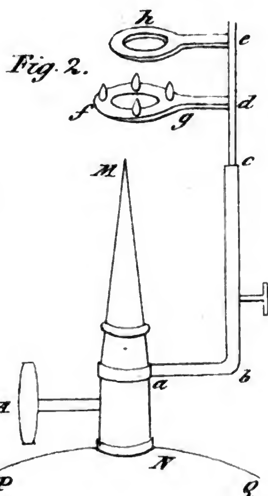

A
d
C
Fig. 3.
e
B
f
D
g
I
K

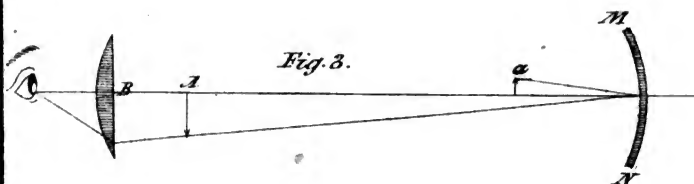

a
b
A

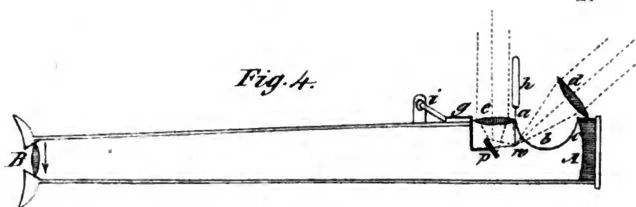

Fig. 4.
Fig. 5.

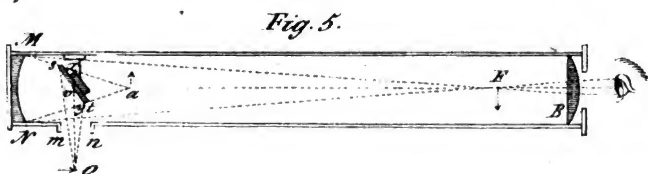

Fig. 6.


A
Fig. 1.
C
D
L
B


h
e
Fig. 2.
d
f
g
c
M
a
b
A
N
P
Q


M
Fig. 3.
a
B
A
N


Fig. 4.
h
d
i
g
e
a
b
c
B
p
m
A


Fig. 5.
M
s
a
F
t
B
N
m
n
o

Taf. XXXVI

Fig. 1.

b e f k h c d q p a

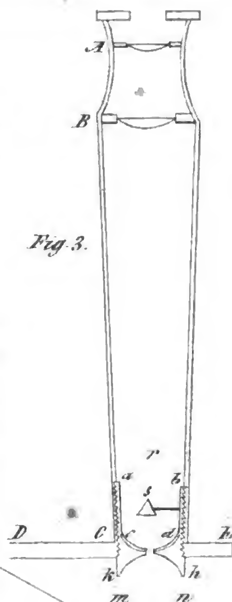


Fig. 3.

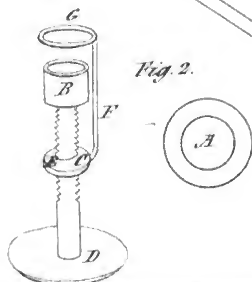
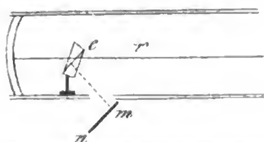
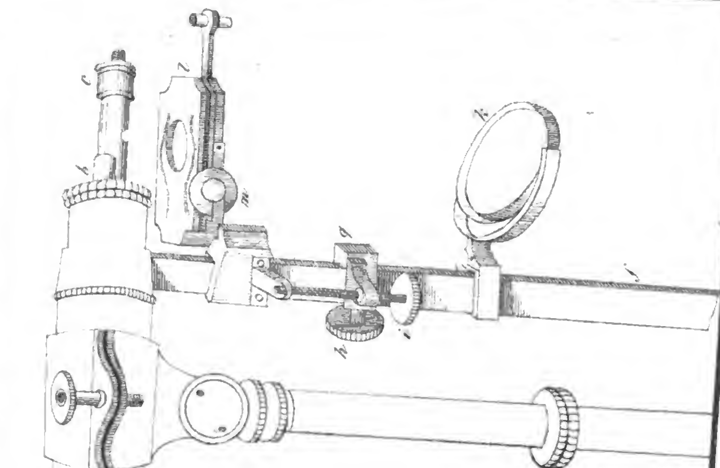
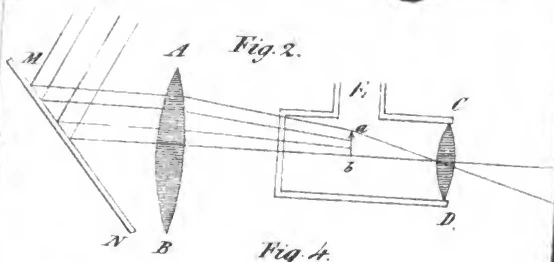


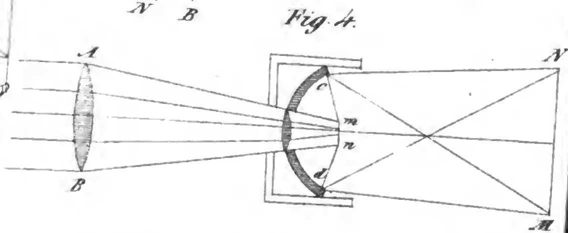
Fig. 2.

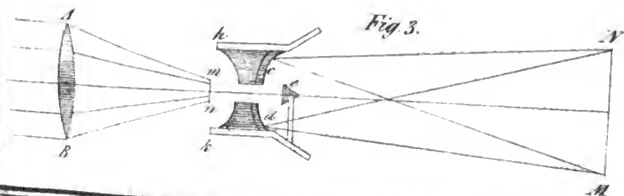
Fig. 4.




Fig. 1.


Fig. 2.
M
A
F
C
a
b
D
N
B


Fig. 4.
A
N
c
m
n
d
B
M


Fig. 3.
A
h
N
m
c
n
d
k
B
M

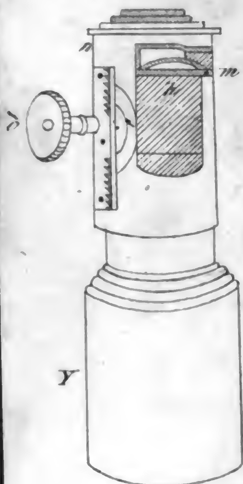


Fig. 1.

k S V J L k i M X H G h E F f C D Q A R B a c b e p d o x



Fig. 2.

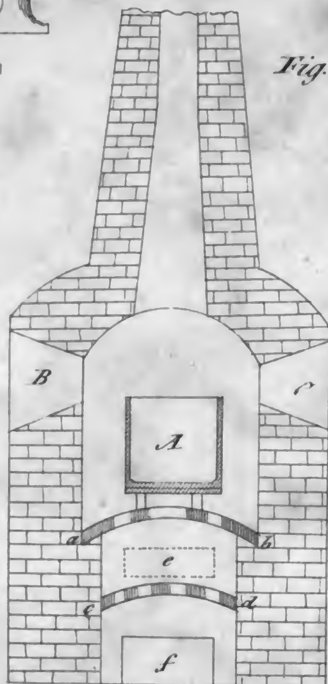
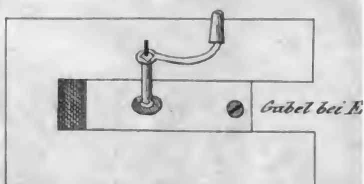


Fig. 1.

Fig. 3.

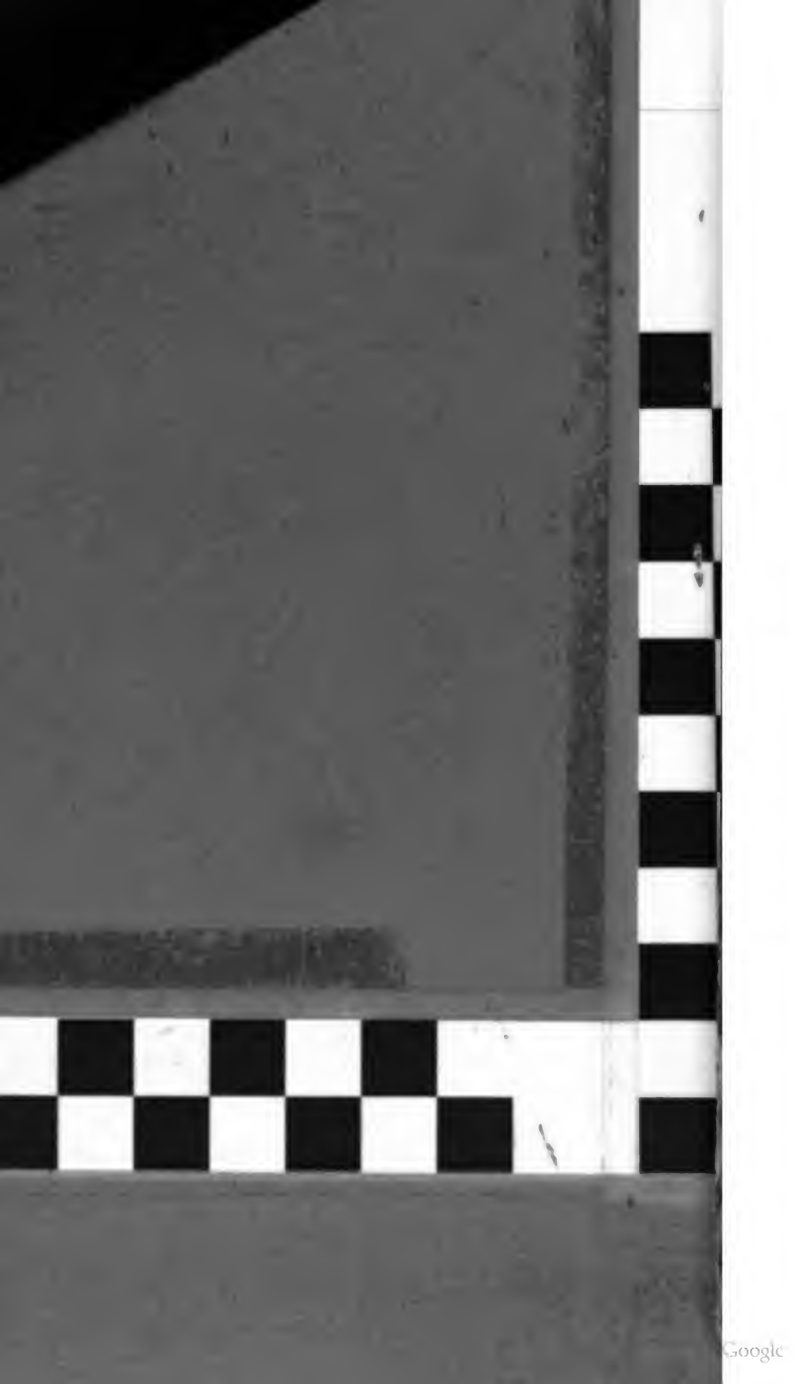
D B C H H F A E G G S

Fig. 4.




Princeton University Library
32101 057356709




Google

